

**EVALUATION ET SUIVI DE LA PRODUCTION AGRICOLE EN FONCTION  
DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT**

**ESPACE 1991 - CAP VERT**



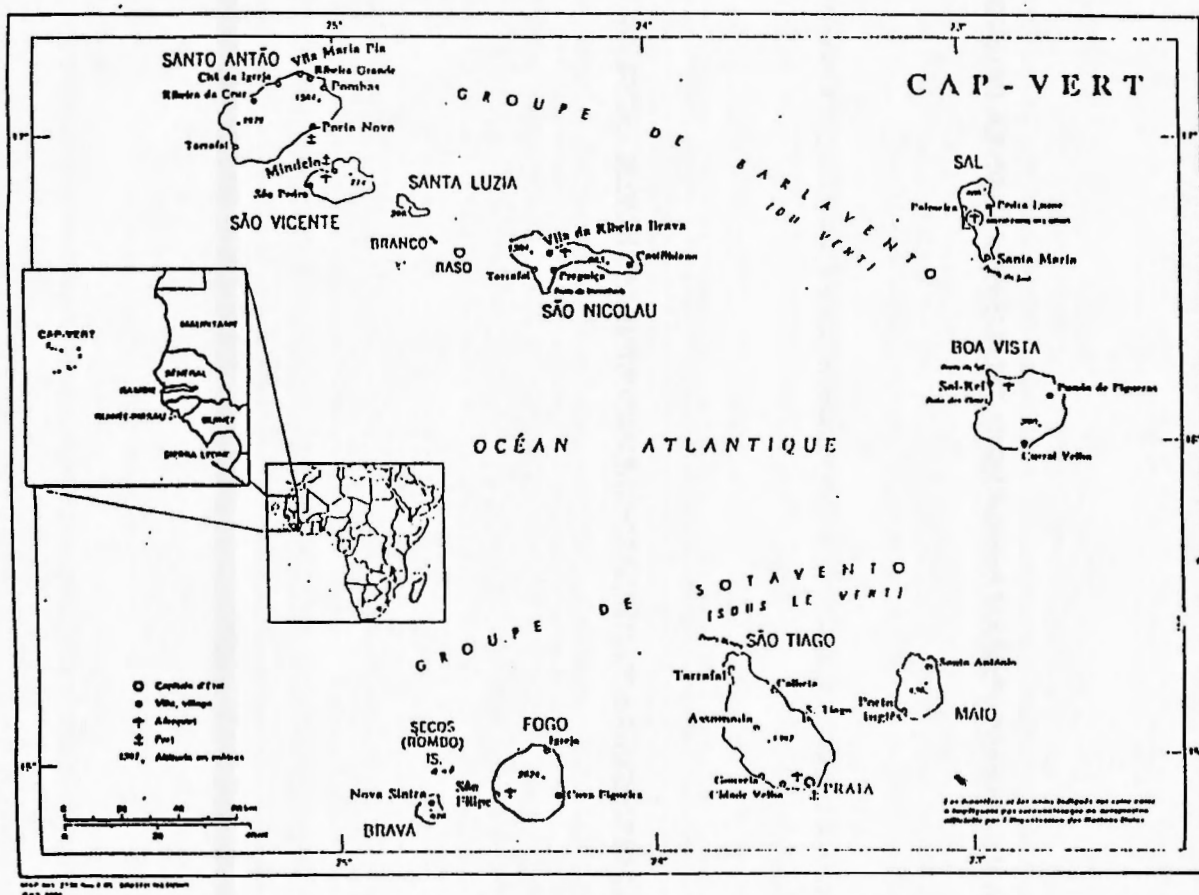
**INIA Cap Vert**

**CIRAD / IRAT France**

**Coopération Française**

# SUIVI DE LA CAMPAGNE D'HIVERNAGE 1991 AU CAP VERT DANS LE CADRE DU PROJET " ESPACE "

J.M. LOPEZ  
Consultant IRAT / CIRAD



Carte n° 1: L'Archipel des îles du Cap Vert

## **AVERTISSEMENT**

Le présent rapport est le troisième document relatif au programme ESPACE mis en place au Cap Vert en 1990. Il est essentiellement destiné à tous les participants du projet au Cap Vert et notamment aux agents de l'Institut de Recherche Agronomique ( INIA ) et du Ministère du Développement Rural et de la Pêche ( MDRP ).

## **REMERCIEMENTS**

J'exprime toute ma reconnaissance à A.SABINO, Président de l'Institut, qui m'a chaleureusement accueilli pour cette deuxième année de suivi ESPACE à Santiago.

Que les techniciens mis à la disposition du programme soient également remerciés pour le travail sérieux qu'ils ont fourni tout au long de la campagne.

Enfin, je ne saurais terminer les remerciements sans oublier toute l'équipe d'Agroclimatologie et d'Hydrologie qui n'a cessé de fournir les données climatiques indispensables au programme et d'appuyer sur le terrain le volet "Ruissellement et Erosion" mis en place cette année à Sao Jorge dans le cadre du projet ESPACE.

**Participants au Programme ESPACE - CAP VERT - SANTIAGO  
Campagne Agricole 1991**

**- IRAT / CIRAD ( FRANCE )**

J.M. LOPEZ, consultant

**- INIA ( CAP VERT )**

A. SABINO, Département Génie Rural, Président de l'Institut

E. BENCHIMOL et E. MONTEIRO, Département d'Agroclimatologie

Tous les techniciens du Département d'Agroclimatologie

**- Enquêteurs sur le terrain**

C. VLADIMIR, Département Social Economie Rurale

A. TITO, Département Social Economie Rurale

**- MDRP ( CAP VERT )**

E. GRACIANO, enquêteur sur le terrain, MDRP de S. Catarina



# SOMMAIRE

	Page
I- INTRODUCTION GENERALE . . . . .	1
II- METHODOLOGIE - DISPOSITIF D'ETUDE ESPACE 1991 . . . . .	2
2.1- Les sites . . . . .	2
2.2- Les parcelles . . . . .	3
2.3- Les parcelles de versant . . . . .	3
2.4- Les parcelles de ruissellement et d'érosion . . . . .	4
III- SITUATION GENERALE DE LA CAMPAGNE . . . . .	5
3.1- Situation pluviométrique . . . . .	5
3.2- Situation phytosanitaire . . . . .	5
3.3- Conséquences sur les rendements des cultures de maïs . . . . .	6
IV- RESULTATS-ANALYSES ( pour l'ensemble du parcellaire ) . . . . .	7
4.1- Remarques préliminaires . . . . .	7
4.1.1- <u>Les données du climat</u> . . . . .	7
4.1.2- <u>Les données du sol</u> . . . . .	7
4.1.3- <u>Les données de la plante</u> . . . . .	8
4.2- Relations fonctionnelles . . . . .	8
4.2.1- <u>Rendement et alimentation hydrique</u> ( niveau des parcelles ) . . . . .	8
4.2.2- <u>Rendement et alimentation hydrique</u> (niveau des sites) . . . . .	9
4.3- Conclusion . . . . .	10
V- RESULTATS - ANALYSES ( gradients oro-pluviométriques ) . . . . .	11
5.1- Remarques préliminaires . . . . .	11
5.2- Mise en évidence des relations fonctionnelles . . . . .	12
5.2.1- <u>Rendement et indice foliaire</u> . . . . .	12
5.2.2- <u>Rendement et alimentation hydrique</u> . . . . .	12
5.2.3- <u>Remarques</u> . . . . .	13
5.3- Conclusion . . . . .	14
VI- CARACTERISATION DES RISQUES DE RUISELLEMENT ET D'EROSION . . . . .	15
6.1- Introduction . . . . .	15
6.2- Dispositif expérimental . . . . .	15
6.3- Résultats-Analyses . . . . .	16
6.3.1- <u>Ruissellement et Erosion</u> . . . . .	16
6.3.2- <u>Productivité</u> . . . . .	17
6.4- Conclusion . . . . .	18
VII- CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS . . . . .	19

## **LISTE DES CARTES**

Carte n°1: L'archipel du Cap Vert.

Carte n°2: Les sites de suivi ESPACE sur l'île Santiago en 1991. ( page 2bis )

## **LISTE DES PLANCHES**

Planche n°1: Dispositifs de ruissellement et d'érosion à S.Jorge. ( page 15 bis )

Planche n°2: Plantules de maïs avec et sans mulch en période de sécheresse. (page 18bis)

Planche n°3: Transports solides à São Jorge. ( page 17 )

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau n°II.1: Altitudes moyennes des zones de suivi ESPACE 1991 sur Santiago ( page 2 ).

Tableau n°II.2: Nombre de parcelles suivies en maïs par site ( page 3 ).

Tableau n°III.1: Pluviométries annuelles pour quelques stations de Santiago ( page 5 ).

Tableau n°III.2: Rendements maïs mesurés sur l'île Santiago ( page 6 ).

Tableau n°III.3: Rendements maïs mesurés sur l'île Santiago pour ESPACE 1990 et 1991. Moyennes par zone bioclimatique ( page 6 ).

Tableau n°IV.1: Rendements moyens maïs mesurés sur les sites ESPACE91 et alimentation hydrique ( simulation ProdClim/DHC ) ( page 9 ).

Tableau n°VI.1: Dispositif de mesure des transports liquides et solides à São Jorge ( page 16 ).

Tableau n°VI.2: Lames d'eau ruisselée mesurées sur les différents dispositifs et lames d'eau simulées sous BIPODE ( page 16bis ).

Tableaux n°VI.3a,b,c: Transports liquides et solides mesurés à São Jorge ( page 17bis ).

Tableaux n°VI.4: Rendement en matière sèche totale obtenus sur les différents dispositifs de ruissellement ( page 18 ).

## **LISTE DES FIGURES**

Figure n°IV.1: Relation ETP Penman et altitude pour quelques stations de Santiago ( page 7bis ).

Figure n°IV.2: Alimentation hydrique du maïs et rendement en matière sèche totale ( page 8bis ).

Figure n°IV.3: Alimentation hydrique du maïs ( ETRcycle ) et rendement grain ( page 8bis ).

Figure n°IV.4: Alimentation hydrique du maïs ( IRESP ) et rendement grain ( page 9bis ).

Figure n°IV.5: Alimentation hydrique du maïs ( ETRcycle ) et production. Moyennes des sites ESPACE ( page 10bis ).

Figure n°IV.6: Relation IRESP et rendement grain. Moyennes des sites ESPACE ( page 10bis ).

Figure n°V.1: Relation LAI à 70 jours après semis et production de matière sèche totale des carrés de rendement ( page 12bis ).

Figure n°V.2: Relation LAI à 70 jours après semis et production grain des carrés de rendement ( page 12bis ).

Figure n°V.3: Production de matière sèche totale et grain et alimentation hydrique ( ETRcycle ) ( page 13bis ).

Figure n°V.4: Relation entre le rendement grain et l'IRESP ( page 13bis ).

Figure n°V.5: Relation entre le rendement grain et ETR/ETM à la floraison ( page 13bis ).

Figure n°V.6: Relation entre le rendement mesuré et ETR/ETM à la floraison ( POSS R. et col, 1988 Togo ) ( page 14bis ).

Figure n°VI.1: Influence du semis direct sur l'ETR ( FOREST F., 1989 ) ( page 19bis ).



## **LISTE DES ANNEXES**

**Annexe1: Pluviomètre ESPACE 1991 au Cap Vert**

**Annexe2: Dispositif d'étude du ruissellement**

**Annexe3: Analyse pluviométrique pour 3 stations de Santiago**

**Annexe4: ETP Penman décadaires pour 1991**

**Annexe5: Dates d'observation des stades végétatifs du maïs**

**Annexe6: Coefficients culturaux du maïs pour différents stades**

**Annexe7: Alimentation hydrique et rendement maïs**

**Annexe8: Fréquence relative des résidus centrés-réduits**

**Annexe9: Topographie des gradients " ESPACE " suivi en 1991**

**Annexe10: Réserves utiles des parcelles des gradients "ESPACE"**

**Annexe11: Termes du bilan hydrique des parcelles de gradients**

**Annexe12: Résultats agronomiques des parcelles de gradients**

**Annexe13: Résultats agronomiques des placettes "LAI"**

**Annexe14: Topographie du versant "Ruissellement-Erosion"**

**Annexe15: Pluie et demande climatique à Santiago**

**Annexe16: Relation pluie et altitude**

**Annexe17: Alimentation hydrique du maïs et rendement**

**Annexe18: Calibration de la méthode de mesure de la LAI maïs**

**Annexe19: Relation hauteur du plant et (1)LAI (2)Surface foliaire**

**Annexe20: Relation hauteur-LAI pour estimation des besoins en eau**

**Annexe21: Relation HLAI (70jas) et production M.S.T. pour les placettes de rendement**

**Annexe22: Pluie et Ruissellement-Erosion à São Jorge**

**Annexe23: Analyse granulométrique des transports solides à S.Jorge**

## I- INTRODUCTION GENERALE

Comme pour l'année 1990, le suivi de l'hivernage en 1991 a été essentiellement axé sur l'estimation des rendements du maïs, en tant que principale culture pluviale en milieu paysan, et le suivi des principaux facteurs climatiques et agro-techniques le déterminant: pluviométrie, calendrier cultural, fertilisation, maladies et prédateurs.

Les résultats obtenus lors du suivi ESPACE 1990 ont dans l'ensemble été satisfaisants. Toutefois, excepté pour quatre toposéquences ayant fait l'objet d'un suivi agro-pédo-climatique approfondi ( 1° rapport ESPACE 1990 ), l'approche mis en oeuvre ne nous avait pas permis d'établir une relation significative entre les rendements mesurés et les paramètres du bilan hydrique simulé dont l'alimentation hydrique totale ( ETRcycle ) et l'indice agroclimatique de rendement espéré ( IRESP ).

La spécificité des situations agro-pédo-climatiques de l'île de Santiago, impliquant une grande variabilité des rendements, a montré la nécessité d'une approche plus globale des problèmes, en particulier l'intérêt d'un approfondissement de la connaissance des phénomènes de reports d'eau et d'érosion. En effet, dans un milieu physique très accentué et fragile, la variabilité de production, en particulier au sein de même versant, ne peut s'expliquer par le niveau agrotechnique des cultivateurs ou par la fertilité et la réserve en eau utile seuls ( 1° rapport ESPACE 1991 toposéquence de Boa Entrada ). Cette variabilité résulte aussi de l'existence de flux hydriques à la parcelle, reports d'eau générés par les états de surface du sol soumis à des dégradations spécifiques ( VALENTIN et CASENAVE 1989 ).

Dès lors pour une étude prévisionnelle des rendements à partir des termes du bilan hydrique, il apparaît fondamental de mieux prendre en compte la pluie réellement tombée sur les parcelles de suivi ainsi que les transferts hydriques auxquelles elles sont soumises.

Carte n°2: Les sites de suivi ESPACE sur l'île Santiago en 1991.



## II- METHODOLOGIE - DISPOSITIF D'ETUDE ESPACE 1991

Pour les raisons évoquées plus haut, le programme ESPACE à Santiago a disposé cette année de deux grands volets:

- Un premier volet ayant trait au suivi des cultures selon la méthodologie " ESPACE ". Les méthodes de recueil des données de terrain sont identiques à celles menées lors de la campagne 1990. Rappelons qu'il s'agit essentiellement du protocole d'enquête ESPACE sur l'ensemble des parcelles suivies et d'études supplémentaires développées sur quelques versants.

Ce volet fera l'objet des quatrième et cinquième chapitres de ce document.

- Un second volet se rapportant aux phénomènes de ruissellement et d'érosion sur quelques parcelles représentatives des situations de l'île. Le principal objectif de ce volet est d'affiner le bilan hydrique du maïs par des mesures in situ des valeurs qui le compose. En particulier le ruissellement dépend de l'état de surface du sol et de la toposéquence dans laquelle est situé le champ ( notion de pente ). Il agit sur la consommation hydrique en réduisant plus ou moins les quantités d'eau disponibles pour la plante maïs aussi en l'augmentant dans certaines situations ( VALET S., SARR P.S. 1990 ).

L'analyse des résultats obtenus sera abordée lors du sixième chapitre.

### 2.1- Les sites

En 1991 le suivi ESPACE a concentré son action de suivi " lourd " sur 7 sites placés selon un gradient altimétrique et bioclimatique sud-nord de l'île Santiago. La culture suivie est le maïs et les sites retenus sont les suivants: ( carte n°2 )

- Le site de Pinha à São Domingo (1);
- Le site de Banana à São Domingo (2);
- Le site de Orgão Péqueno à São Jorge (3);
- Le site de Cutelo da Vega à Picos (4);
- Le site de Casa Grande à Picos (5);
- Le site de Cabeça Careira à Santa Catarina (6);
- Le site d'Achada Falcão à Santa Catarina (7).

L'altitude moyenne de chaque site est reportée dans le tableau n°II.1 ci-dessous:(\*\*\*\*)

Tableau n°II.1: Altitudes moyennes des zones de suivi ESPACE 1991 sur Santiago

Sites	Pinha **	Banana **	O.Péqueno **	Picos **	C.Careira *	A.Falcão *
Altitude	350 m	275 m	300 m	400 m	500 m	500 m

\* : Relief très accidenté    \*\*: Relief peu accidenté



## 2.2- Les parcelles

Les parcelles suivies ont été les plus représentatives des situations agro-pédo-climatiques de l'île mais aussi les plus proches de la réalité paysanne ( prise en compte des caractères socio-économiques ). Ainsi 120 parcelles paysannes semées en maïs-haricot ont été observées selon le protocole d'enquête ESPACE. La répartition des parcelles par site est donnée par le tableau n°II.2 suivant:

Tableau n°II.2: Nombre de parcelles suivies en maïs par site au cours de l'hivernage 1991.

SITE	ZONE BIOCLIMATIQUE	NOMBRE DE PARCELLE
Pinha	Semi Aride (S.Domingo)	15
Banana	Semi Aride (S.Domingo)	15
Orgão Péqueno	Semi Aride (S.Jorge)	30
Cutelo da Véga	Sub Humide (Picos)	15
Casa Grande	Sub Humide (Picos)	15
Cabeça Careira	Humide (S.Catarina)	15
Achada Falcão	Humide (S.Catarina)	15

Un pluviomètre ESPACE ( Annexe n°1 ) a été implanté judicieusement pour un ensemble de 4 parcelles relativement proches afin de prendre en compte la pluie réellement tombée sur les parcelles du projet.

Trois placettes de rendement de 4m<sup>2</sup>, matérialisées par 4 piquets et un fil ont été installées dans chaque parcelle suivie. Le maïs de chaque placette a été prélevée en fin de campagne et soumis à différentes pesées afin de mesurer les composantes du rendement ( poids grain, poids paille,...).

## 2.3- Les parcelles de versant

Cette année encore, afin de mieux prendre en compte l'effet relief sur les principales composantes du rendement, des études complémentaires ont été poursuivies sur plusieurs versants marqués situés au vent et/ou sous le vent. Ainsi pour chaque site, une toposéquence présentant une parcelle de bas fond, une parcelle de bas, milieu et haut de pente, a fait l'objet d'observations spécifiques:

- Relevés pluviométriques (1 pluviomètre par type de parcelle);
- Relevés topographiques notamment à Picos et Santa Catarina;
- Prélèvements d'échantillon de sol pour analyses physiques;
- Suivis d'état de surface, de front d'humectation à la tarière, de croissance végétative ( tiges, feuilles, racines ).

La zone de Santa Catarina, présentant la particularité d'être la plus productive de l'île, dispose de 2 toposéquences de suivi approfondi: l'une au vent (site de Cabéça Careira) et l'autre sous le vent, en l'occurrence celle d'Achada Falcão. Ainsi l'effet exposition a été lui aussi pris en compte dans le suivi.

#### **2.4- Les parcelles de ruissellement et d'érosion**

Pour des raisons de commodité ( proximité des locaux de l'Institut ), les études de transports liquides et solides ont été réalisées à São Jorge dos Orgãos sur une toposéquence située au lieu dit Ribeirão Galinha. Quatre dispositifs de mesure de  $4\text{m}^2$  ( Annexe n°2 ) ont donc été implantés sur les parcelles du haut et du bas du versant. Un observateur du Département d'Agroclimatologie, mis à la disposition du programme ESPACE, a procédé aux mesures tout au long de la campagne.

### III- SITUATION GENERALE DE LA CAMPAGNE

#### 3.1- Situation pluviométrique

La pluviosité de la saison 1991 sur l'île Santiago s'est caractérisée par:

- Une arrivée généralisée très tardive des pluies ( début Septembre );
- Une très mauvaise répartition temporelle impliquant des épisodes de sècheresse;
- Un cumul pluviométrique en fin d'hivernage bien inférieur à la moyenne calculée sur la période 1961-89 mais aussi à celle de l'année précédente ( Tableau n°III.1 ci-dessous );
- Deux épisodes de très forte pluviométrie représentant à eux seuls plus des 2/3 du total pluviométrique ( Annexes n°3 ), et ayant provoqué d'importants dégâts matériels et cultureux;

Tableau n°III.1: Pluviométries annuelles pour quelques stations de Santiago

STATIONS	PLUVIOMETRIE Moyennes 1961 - 89	PLUVIOMETRIE Année 1990	PLUVIOMETRIE Année 1991 (*)
PRAIA AEROPORT	158 mm	242 mm	25 mm
S.CRUIZ	247 mm	390 mm	124 mm
S.DOMINGO	290 mm	278 mm	85 mm
S.JORGE	449 mm	392 mm	203 mm

Sources: Département d'Agroclimatologie de São Jorge

(\*): Pluviométrie cumulée au 30 Novembre

Les premières pluies significatives sont tombées durant le début du mois d'août dans les zones de l'île situées en altitude ( zones humides ) et à vocation agricole telle la région de Santa Catarina. Ces pluies ont permis la levée des semis effectués en sec en juillet. La première pluie de levée généralisée est arrivée seulement en fin du mois d'août (le 31) et a autorisé les premiers semis en humide sur le restant de l'île c'est à dire dans les zones agricoles semi-arides et subhumides ( les semis en sec de juillet ayant été voués à l'échec ). La situation pluviométrique s'est ensuite dégradée. Jusqu'à la fin du mois de septembre, on note une quasi absence de précipitation. Comme pour le mois d'août, la reprise des pluies en fin septembre s'est caractérisée par de fortes pluviométries allant jusqu'à 300 mm à Achada Falcão ( Santa Catarina ) et provoquant de sérieux dégâts pour les infrastructures tels les ponts, les routes, ...

Les pluies d'octobre et de novembre sont restées quasi absentes sur Santiago.

#### 3.2- Situation phytosanitaire

Dans l'ensemble la situation est restée relativement bonne. Néanmoins, quelques attaques localisées dans les zones humides ont été rapportées ( Sources: Département de Protection des Végétaux de l'Institut de São Jorge ).

### 3.3- Conséquences sur les rendements des cultures de maïs

Suite à la très mauvaise répartition des pluies, les cultures ont subi d'importants stress hydriques. Concernant les résultats enregistrés sur les parcelles de suivi ESPACE, comme nous le montre le tableau n°III.2 suivant, le rendement moyen en grain pour l'ensemble des sites a été de 294 kg/ha contre 465 kg/ha en 1990. Quant à la matière sèche totale, le rendement moyen s'élève seulement à 2082 kg/ha.

Tableau n°III.2: Rendements maïs mesurés sur Santiago ( parcelles ESPACE 1991 )

REGION	RENDEMENT GRAIN ( kg/ha )			RENDEMENT M.S.T. ( kg/ha )		
	MINIMUN	MOYEN	MAXIMUN	MINIMUN	MOYEN	MAXIMUN
SANTIAGO	0	294	1590	61	2082	6089

Le manque d'eau permanent survenu dans les zones semi-arides et parfois subhumides de l'île a porté à néant tout espoir de récolter du grain. Seule une faible récolte de paille pour le bétail a pu être réalisée, laissant complètement à nu les sols. Pour les zones humides et la plupart des zones subhumides, le stress hydrique a lui aussi été enregistré, particulièrement durant la phase de floraison ( mi octobre ), ce qui a conditionné fortement la chute des rendements en grain.

Les rendements en grain par zone bioclimatique (1990 et 91), ainsi que les rendements en matière sèche totale ( 1991 ) ont été reportées dans le tableau n°III.3 ci-dessous:

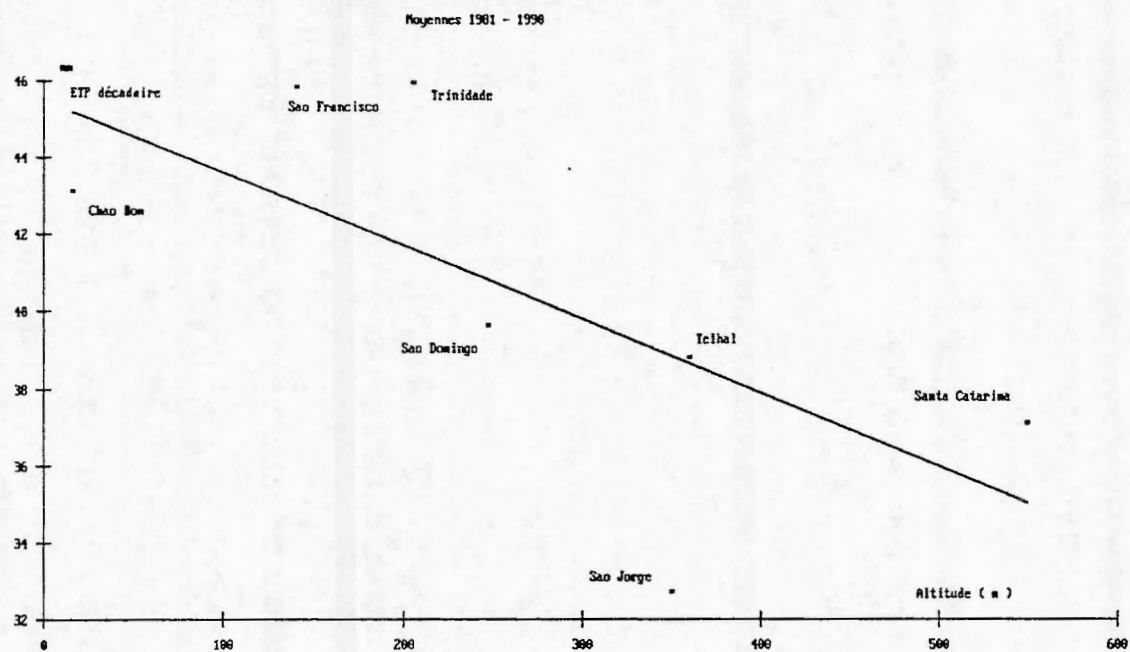
Tableau n°III.3: Rendements maïs mesurés sur l'île Santiago pour ESPACE 1990 et 91. Moyennes par zone bioclimatique.

Sites ESPACE 1991		Zone Bioclimatique	Rendements moyens ( kg/ha )		
Nom	Nb Parcelle		Grain 1990	Grain 1991	M.S.T. 1991
Pinha	15	Semi Aride	478	0	679
Banana	15				
O.Pequeno	30				
C.Véga	15	Subhumide	595	324	2927
C.Grande	15				
C.Careira	15	Humide	1000	715	3269
A.Falcão	15				

Pour 1990, rappelons que des prélèvements importants de paille pour les animaux ayant eu lieu avant le passage des enquêteurs, nous avons jugé plus prudent de ne pas considérer la matière sèche totale, aussi n'apparaît-elle pas dans ce tableau. Les rendements "ESPACE" obtenus en 1991 restent bien inférieurs à ceux de 1990 quelque soit la zone bioclimatique considérée.



Figure n°IV.1: **RELATION ETP PERMAN ET ALTITUDE POUR QUELQUES STATIONS DE SANTIAGO**



## **IV- RESULTATS - ANALYSES ( pour l'ensemble du parcellaire )**

### **4.1- Remarques préliminaires**

A partir des données de rendement du maïs obtenus sur les 120 parcelles suivies par le programme ESPACE sur les principales zones agricoles de l'île Santiago, nous allons tenter d'établir des relations fonctionnelles entre les rendements mesurés et les termes du bilan hydrique simulé grâce au modèle informatisé " ProdClim / DHC " constituant la base de données ESPACE et mis au point par C.BARON de l'équipe CLIPP à l'IRAT de Montpellier.

Les parcelles ayant subis des prélèvements d'organes végétatifs ont été systématiquement retirées de l'analyse.

Trois types de données ont été utilisées pour les simulations de bilan hydrique:

#### **4.1.1- Les données du climat**

- Les pluviométries journalières enregistrées grâce aux pluviomètres ESPACE installés sur les parcelles: 1 pluviomètre pour 4 parcelles relativement proches dans l'espace. Les pluies ainsi relevées ont été par la suite corrigées, un étalonnage ayant été effectué à la station agroclimatique de Sao Jorge.

- Les ETP Penman décadaires calculées pour chaque site au moyen d'une fonction linéaire mettant en évidence une corrélation négative entre l'ETP et l'altitude ( Figure n°IV.1 ). Les valeurs d'ETP décadaires ainsi calculées pour chaque site ESPACE sont reportées en Annexe4.

#### **4.1.2- Les données du sol**

- Les réserves utiles en eau des sols prises en compte, sont pour la plupart évaluées en fonction de la capacité et de la profondeur des sols ( sondage à la tarière ). Des mesures réelles seraient néanmoins nécessaires pour mieux appréhender ce facteur si déterminant pour nos simulations.

En général, la réserve utile en eau évolue entre 40 et 150 mm selon les situations morphopédologiques rencontrées ( sources INIA ):

\* RU de 40 à 90 mm pour les parcelles de versant qui présentent en général des sols superficiels;

\* RU de 120 à 150 mm pour les parcelles de bas fond le plus souvent aménagées ( diguette ).

#### **4.1.3- Les données de la plante**

- Les durées des stades végétatifs IDV, FL1, FL2, MATU, ont été déterminées à partir des observations phénologiques effectuées au cours de la campagne ( Annexe5 ).

Figure n°IV.2: ALIMENTATION HYDRIQUE DU MAIS ET RENDEMENT M.S.T.

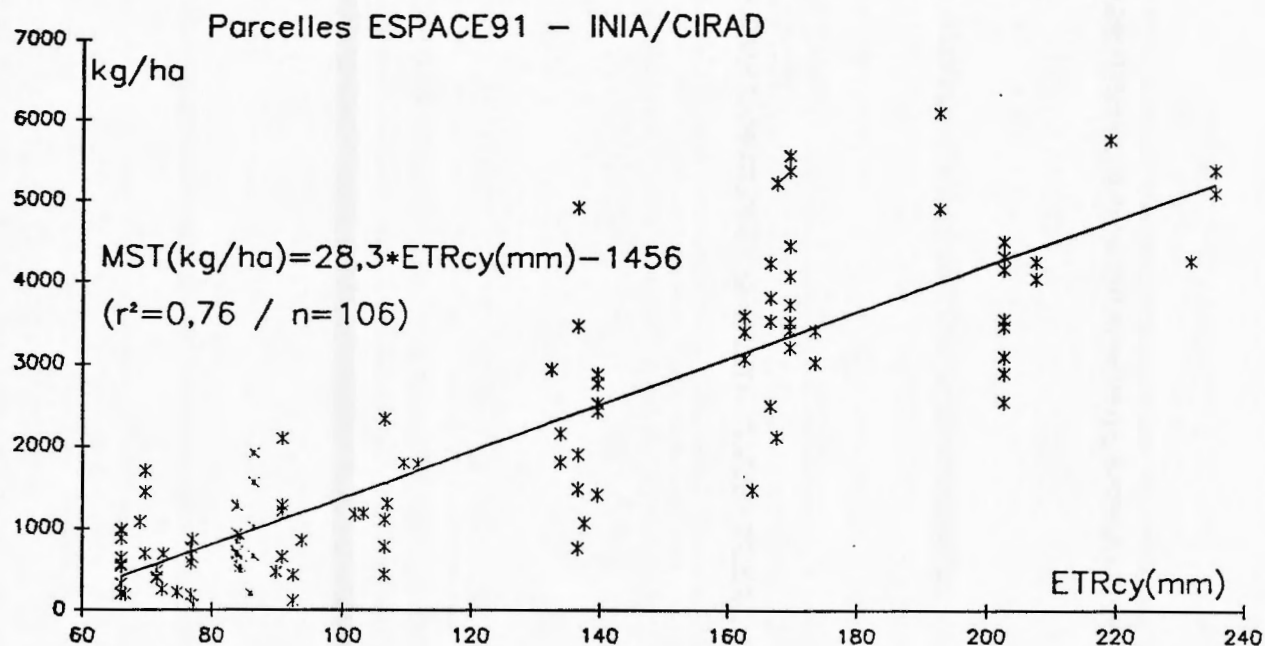
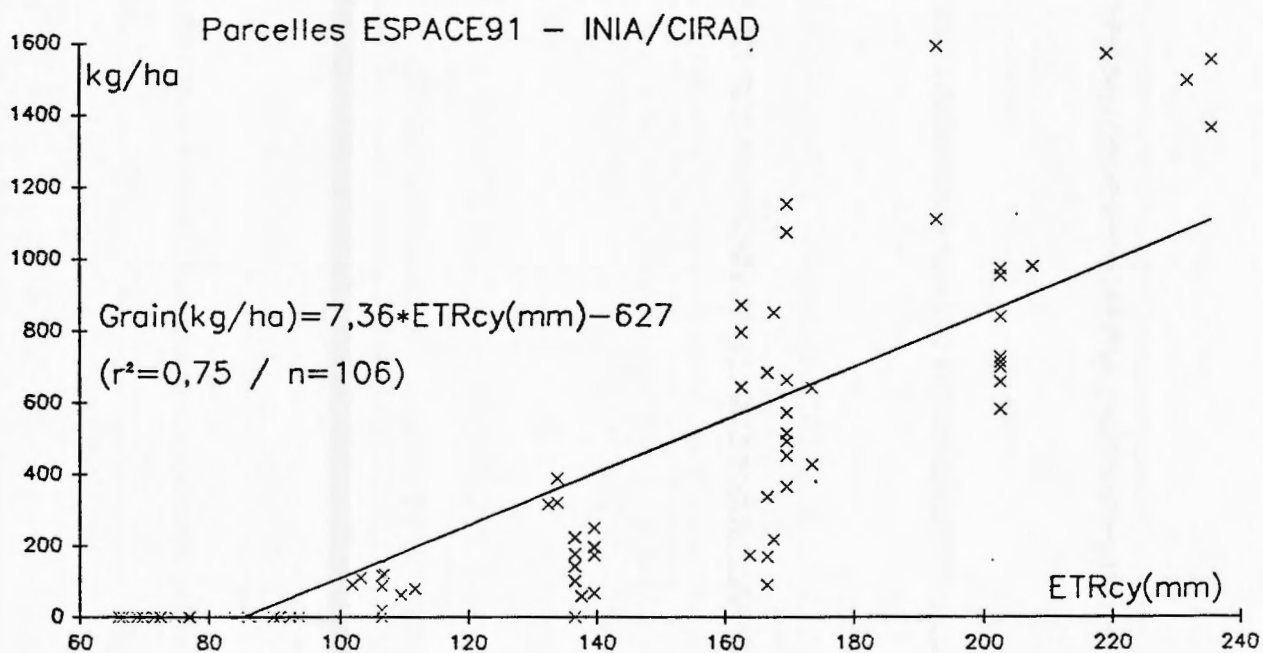


Figure n°IV.3: ALIMENTATION HYDRIQUE DU MAIS ET RENDEMENT GRAIN



- Les coefficients cultureux sont ceux évalués en fonction de la latitude ( J.P. FRETEAU, B. LIDON, méthode LatKc ). Aussi sont ils identiques à ceux appliqués à la station de Bambey au Sénégal. Les coefficients ont été reportés en Annexe6. Cependant devant la particularité de notre situation insulaire, ces coefficients cultureux déterminés, rappelons le en station sur un maïs bien développé et en zone soudano-sahélienne, ne reflètent pas exactement la réalité rencontrée sur l'île en milieu paysan.

- Le ruissellement n'a pas été pris en compte dans cette simulation: Considérant une redistribution spatiale des reports d'eau au niveau du site, le bilan est considéré comme nul.

- Les paramètres retenus du bilan hydrique simulé sont les suivants:

- \* l'alimentation hydrique totale du cycle: ETRcycle en mm;
- \* la satisfaction hydrique en période critique, soit à la floraison pour le maïs: ( ETR/ETM)pc en %;
- \* l'indicateur agroclimatique, IRESP2 en mm et calculée de la manière suivante:  

$$\text{IRESP} = \text{ETRcycle} * (\text{ETR/ETM})_{pc}.$$

Les valeurs des différentes variables hydriques et agronomiques sont données dans les tableaux en Annexe7.

## 4.2- Relations fonctionnelles

### 4.2.1- Rendement et alimentation hydrique ( niveau des parcelles )

- **Rendement et ETRcycle:**

Les figures n°IV.2 et .3 font apparaître une liaison entre l'alimentation hydrique totale sur le cycle ( ETRcycle) et les rendements en matière sèche totale ( MST ) et grain, enregistrées sur les 106 parcelles retenues ( élimination de 14 parcelles pour cause de prélèvements de paille ). Les équations de régression illustrant ces relations étroites (  $r^2$  élevés ) sont les suivantes:

- \* pour la matière sèche totale

$$\text{Rdt MST( kg/ha )} = 28,3 * \text{ETRcycle( mm )} - 1456 \text{ avec } r^2 = 0,76$$

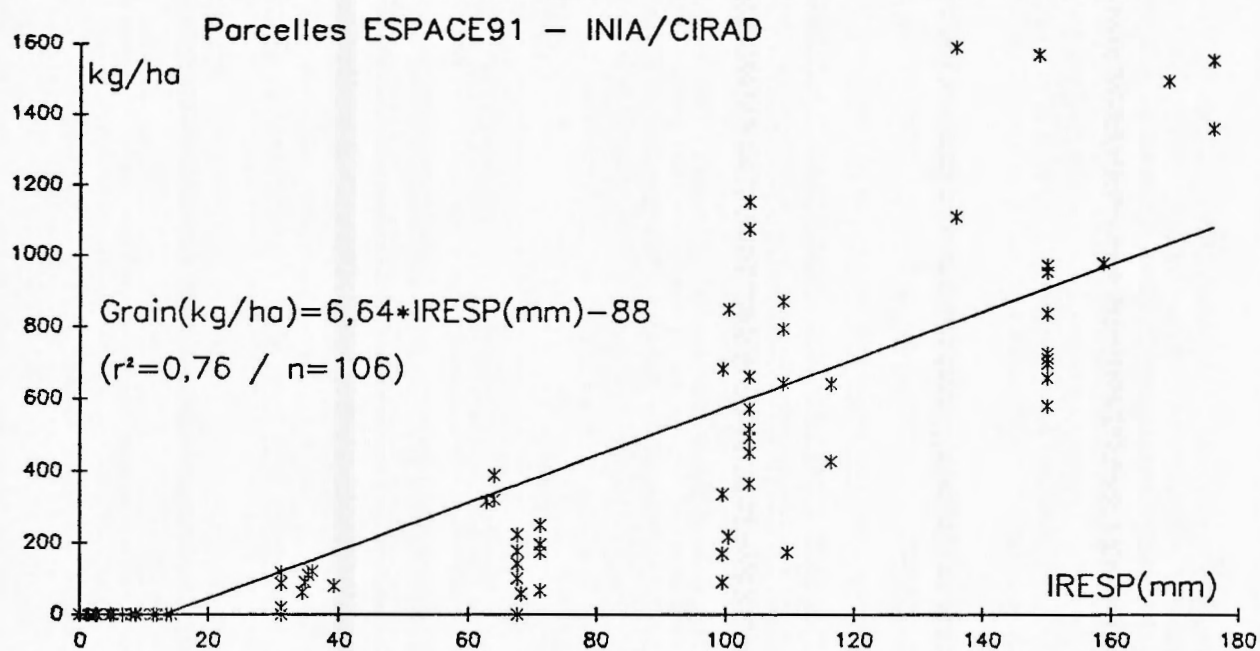
- \* pour le grain

$$\text{Rdt Grain( kg/ha )} = 7,36 * \text{ETRcycle( mm )} - 627 \text{ avec } r^2 = 0,75$$

Les pentes des 2 droites sont significativement différentes. On observe un rapport de 1 à 4 lorsque l'on passe de l'élaboration du grain à l'élaboration de la matière sèche totale. Ceci tendrait à montrer que pour 1 mm d'eau en plus durant le cycle, le gain de production de paille est 3 fois plus élevé que celui du grain.



Figure n°IV.4: ALIMENTATION HYDRIQUE DU MAIS ET RENDEMENT GRAIN



### - Rendement Grain et IRESP:

La figure n°IV.4 ( page ci-contre ) nous montre la bonne corrélation entre le rendement grain et l'IRESP:  $r^2 = 0,76$ .

L'équation obtenue est la suivante:

$$\text{Rdt Grain( kg/ha )} = 6,64 * \text{IRESP( mm )} - 88$$

Rappelons que cette équation, de part l'IRESP, intègre le taux de satisfaction hydrique durant la phase critique ( floraison ), qui cette année encore s'est révélé extrêmement sèche ( mois d'octobre sans pluie ).

#### 4.2.2- Rendement et alimentation hydrique (niveau des sites)

Sur la base des analyses précédentes, il semble judicieux de regrouper les résultats obtenus par site. Cette démarche permettra de nous situer à une échelle géographique plus large et ainsi d'atténuer l'extrême variabilité des rendements inter et intra sites ( parcelles de versant et de bas fond ).

L'analyse statistique des résidus, devant obéir à une distribution normale centrée et réduite, nous " autorise ", comme le montre les graphiques portés en Annexe8, à regrouper les points et donc les parcelles d'un même site et ainsi de raisonner au niveau des moyennes agronomiques et hydriques. Les valeurs ainsi obtenues figurent dans le tableau n°IV.1 suivant:

Tableau n°IV.1: Rendements moyens maïs mesurés sur les sites ESPACE91 et alimentation hydrique ( simulation ProdClim / DHC )

SITES ESPACE91		ZONE BIOCLIMATIQUE	RENDEMENT MOYEN (kg/ha)		ETRcycle MOYEN (mm)	IRESP MOYEN (mm)
Nom	Nbre de Parcelle		Grain	M.S.T.		
PINHA	15	Semi Aride (S.Domingo)	0	405	72	0
BANANA	15	Semi Aride (S.Domingo)	0	838	67	0
O.PEQUENO	30	Semi Aride (S.Jorge)	0	794	85	9
C.VEGA	15	Sub Humide (Picos)	204	2484	141	71
C.GRANDE	15	Sub Humide (Picos)	445	3370	153	86
C.CAREIRA	15	Humide (S.Catarina)	578	2800	148	85
A.FALCAO	15	Humide (S.Catarina)	852	3737	206	151

Figure n°IV.5: **ALIMENTATION HYDRIQUE DU MAIS ET PRODUCTION**

Moyennes des sites ESPACE 1991  
INIA - CIRAD

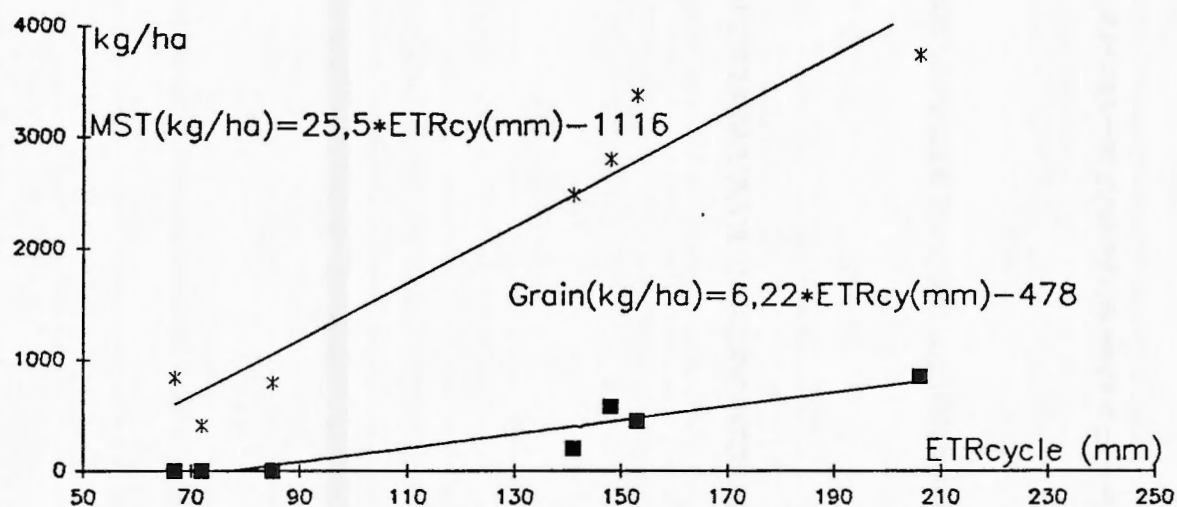
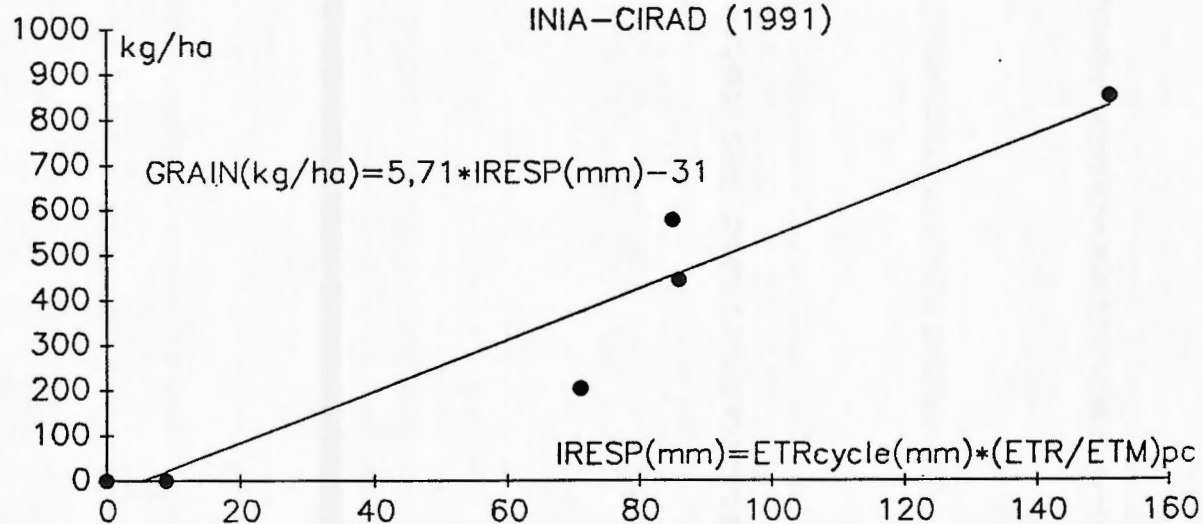


Figure n°IV.6: **RELATION IRESP ET RENDEMENT GRAIN DU MAIS**

Moyennes des sites ESPACE-CAP VERT  
INIA-CIRAD (1991)



Les figures n°IV.5 et .6 reprennent les valeurs du tableau ci-dessus. Les équations illustrant les relations entre les variables hydriques et agronomiques sont les suivantes:

- Rdt MST( kg/ha ) =  $25,5 * ETR_{cycle} ( mm ) - 1116$ ;
- Rdt Grain ( kg/ha ) =  $6,22 * ETR_{cycle} ( mm ) - 478$ ;
- Rdt Grain ( kg/ha ) =  $5,71 * IRESP ( mm ) - 31$

Le maïs semble fournir une production de grain à partir d'un ETRcycle supérieur à 80 mm; En dessous, il ne produit que de la paille.

#### **4.3- Conclusion**

Les résultats de la campagne 1991 illustrent bien l'importance du rôle de l'alimentation hydrique dans l'élaboration du rendement au Cap Vert. Contrairement à l'an passé, nous avons pu mettre en évidence les relations étroites entre les variables hydriques et agronomiques pour l'ensemble du parcellaire suivi par le programme.

La mise en place d'un réseau de pluviomètres propres aux parcelles suivies a contribué fortement à une meilleure approche des situations. Néanmoins, une évaluation plus précise de certaines données de base reste nécessaire pour de plus justes simulations. Il s'agit en l'occurrence:

- Des coefficients culturaux, compte tenu du caractère insulaire de nos situations et des variétés locales utilisées en milieu paysan;
- Des réserves utiles en eau des sols, qui restent assez mal connues au Cap Vert;
- Des reports d'eau, autant en surface qu'en profondeur, et qui dans un milieu physique comme celui de l'île Santiago se présentent comme un facteur à prendre absolument en compte lorsque l'on cherche à expliquer par les termes hydriques la variabilité des rendements inter et intra-site.

## **V- RESULTATS - ANALYSES ( parcelles des gradients oro-pluviométrique )**

### **5.1- Remarques préliminaires**

Les données analysées dans ce chapitre portent sur les parcelles de 5 versants où ont été menées des mesures supplémentaires:

- Relevés topographiques;
- Suivis d'état de surface;
- Suivis de front d'humectation ( tarrière );
- Suivis de croissance végétative;
- Prélèvements d'échantillon de sol pour analyses physiques;

Il s'agit des gradients oro-pluviométriques situés dans les sites suivis par ESPACE:

- Un à Banana ( São Domingo );
- Un à Orgão Péqueno ( São Jorge );
- Un à Cutélo da Véga ( Picos );
- Un à Cabéça Careira ( Santa Catarina );
- Un à Achada Falcão ( Santa Catarina ).

Les relevés topographiques ont été reportés en Annexes9. Les tableaux donnés en Annexe11 et 12 récapitulent les principaux termes hydriques et agronomiques établis sur les parcelles des versants ( haut, milieu et bas de versant ).

Les simulations de bilan hydrique ont été effectuées à partir du modèle Bipode ( Forest, Franquin ) car il présente un pas de temps journalier, permettant entre autre de bien visualiser l'impact d'une pluie sur le stock hydrique, mais aussi parce qu'il prends en compte le ruissellement ( notion d'état de surface du modèle Casenave et Valentin ).

Les réserves utiles en eau considérées dans les simulations ont été déterminées après analyses granulométriques d'échantillon de sol et réalisées par le service du Laboratoire des Sols de l'INIA à Sao Jorge. Elles ont été reportées dans le tableau en Annexe10.

Le phénomène de rosée a été observé durant les premières semaines qui ont suivi la levée des plantules. La rosée a donc été prise en compte dans les simulations soit 0,5 mm par jour.

Les apports d'eau externes ont été remarqués sur 2 parcelles de bas fond: après un épisode sec de longue durée ( 30 jours en octobre ), celles-ci restaient toujours humectées sur la totalité du profil cultural ( sondage à la tarrière ). Il s'agit des parcelles situées à Cabéça Careira et Achada Falcão où des observations similaires avaient été faites lors du suivi de 1990.



Figure n°V.1: RELATION LAI A 70 JOURS ET PRODUCTION PSI - CARRÉ DE RDT

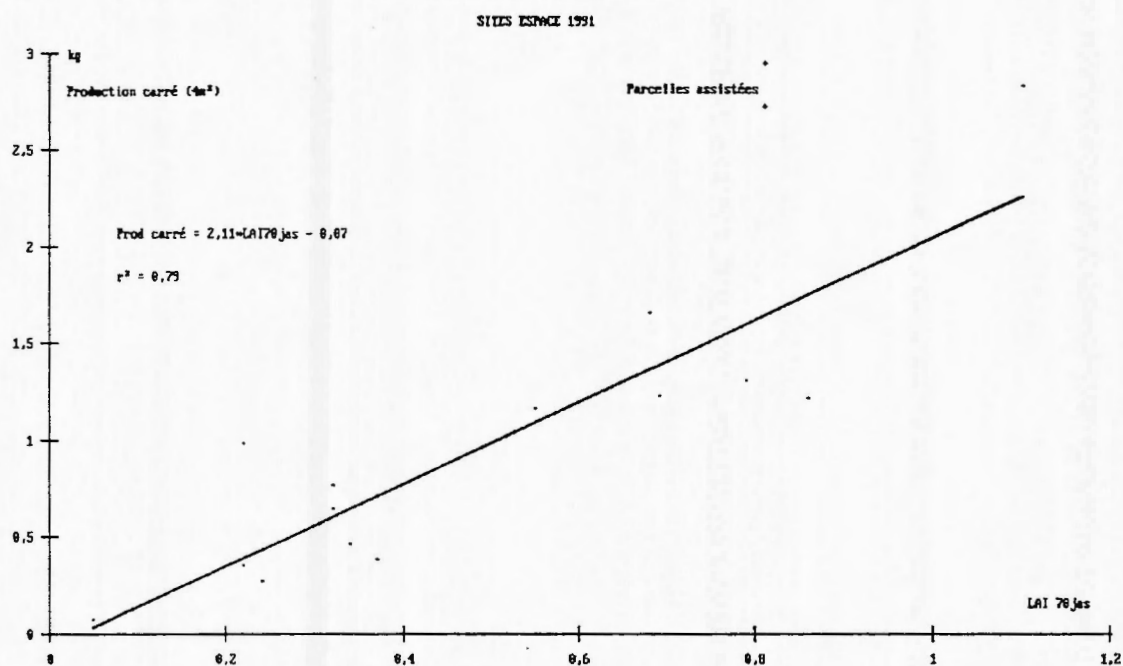
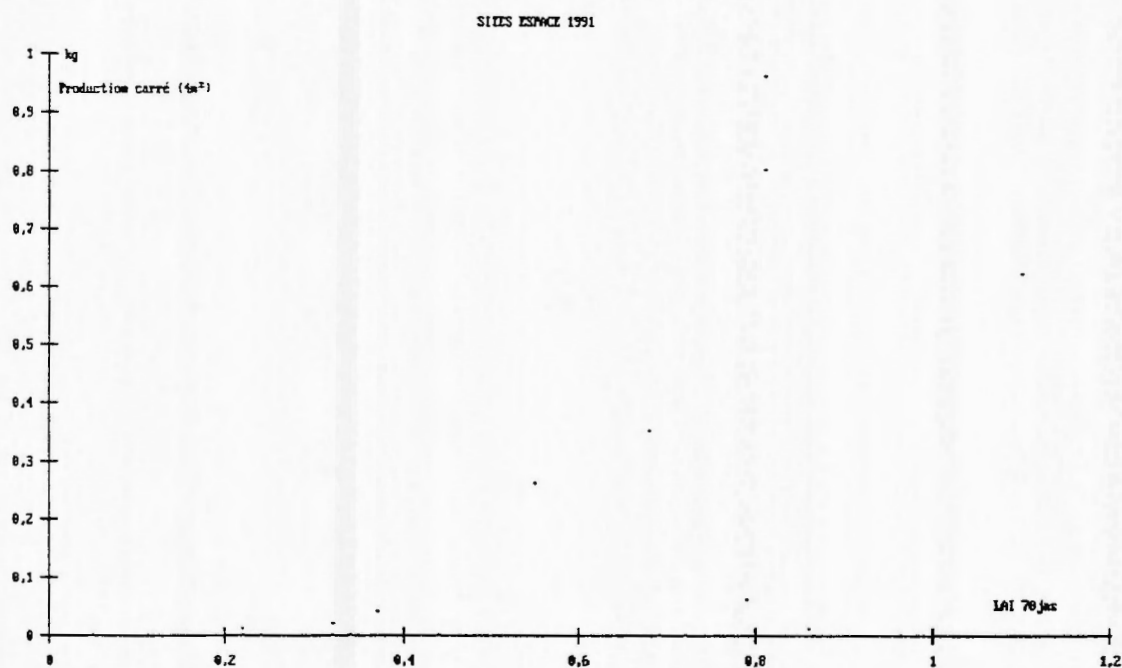


Figure n°V.2: RELATION LAI A 70 JOURS ET PRODUCTION GRAIN - CARRÉ DE RDT



Le ruissellement a été observé sur toutes les parcelles lors des deux grands événements pluvieux survenus les 31 août et 29 septembre.

Les valeurs figurant dans le tableau en Annexe11 sont estimées par le modèle après avoir considéré un coefficient de ruissellement déterminé par les mesures in situ réalisées à São Jorge et qui font l'objet du chapitre suivant. Néanmoins, tout comme pour les apports externes, ces grandeurs estimées sont à considérer avec prudence. Des mesures in situ supplémentaires, du moins pour chaque site suivi, s'avèreraient nécessaires afin de mieux cerner ces facteurs.

## **5.2- Mise en évidence des relations fonctionnelles**

### **5.2.1- Rendement et indice foliaire**

Un suivi de la hauteur et de la surface foliaire du maïs a été effectué au cours de l'hivernage sur certaines placettes de rendement ( 1 placette par parcelle suivie ). Au total 19 placettes de 4 m<sup>2</sup> ( 4 poquets soit 16 plants ) ont fait l'objet d'observations phénologiques. L'objectif principal de cette étude est de mieux appréhender l'aspect végétatif dans l'élaboration du rendement.

Le tableau en Annexe13 les valeurs enregistrées. Les mesures de surface foliaire ont été faites à 70 jours après semis ce qui correspond à peu près à la fin de la floraison dans les zones subhumides et humides de l'île.

La figure n°V.1 illustre la bonne corrélation (  $r^2=0,79$  ) entre l'indice foliaire mesuré à 70 jours après semis et les productions de matière sèche totale des placettes. L'équation liant les deux paramètres est la suivante:

$$\text{Prod.placette (kg)} = 2,11 * \text{LAI ( 70jas )} - 0,1$$

Concernant la production de grain, la figure n°V.2 fait apparaître un nuage de points relativement dispersés. L'indice foliaire à 70 jours semble être un mauvais indicateur de la variabilité de production de grain. Cela pourrait s'expliquer, tout comme l'an passé, du fait que les mesures foliaires ont été réalisées pendant le stress hydrique de la floraison alors que les feuilles continuaient à présenter dans l'ensemble un bon aspect végétatif. Ceci a été observé plus particulièrement sur les sites de Picos et de Cabéça Careira.

Figure n°V.3: PRODUCTION DE MATIERE SECHE ET GRAIN Projet ESPACE91  
CULTURE DU MAIS - SANTIAGO Inia - Cirad

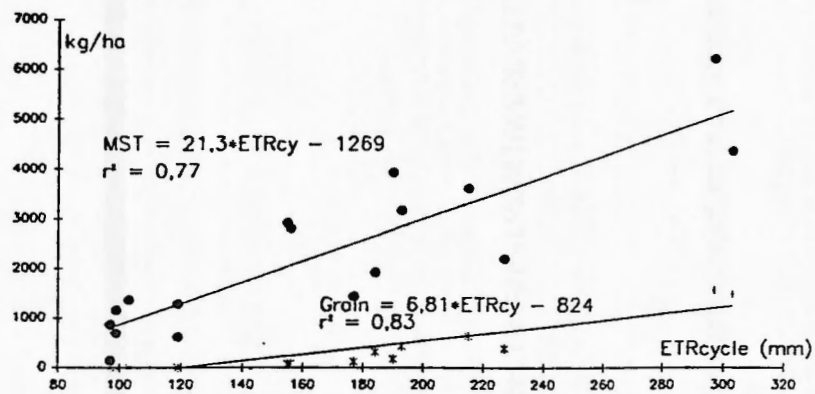


Figure n°V.4: RELATION ENTRE LE RENDEMENT GRAIN ET IRESP  
Inia - Cirad ESPACE 91

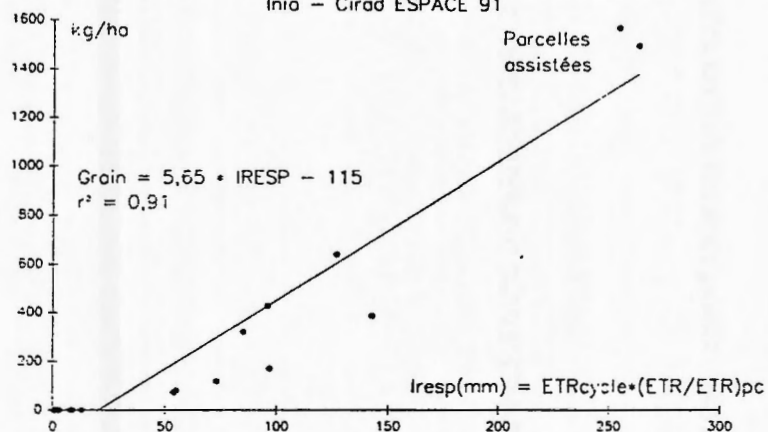
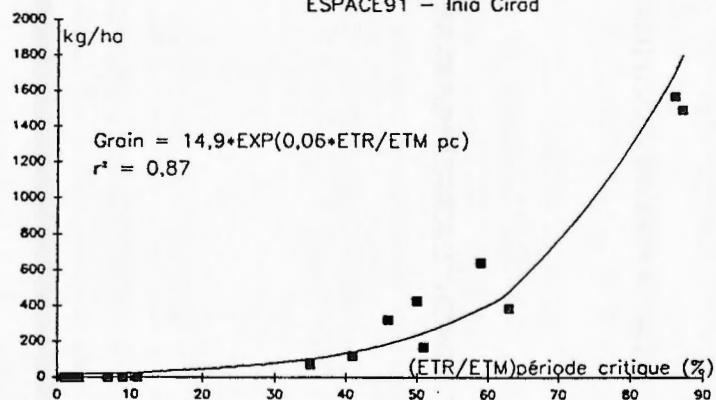


Figure n°V.5: RELATION ENTRE LE RENDEMENT GRAIN ET ETR/ETM A LA FLORAISON

ESPACE91 - Inia Cirad



### 5.2.2 Rendement et alimentation hydrique

#### - Rendement et ETRcycle

Les régressions obtenues entre l'ETRcycle et le rendement grain d'une part et de matière sèche totale d'autre part, sont de type linéaire comme le montre la figure n°V.3:

$$* \text{ Grain (kg/ha) } = 6,81 * \text{ ETRcycle (mm) } - 824 \text{ avec } r^2=0,83;$$

$$* \text{ MST ( kg/ha ) } = 21,3 * \text{ ETRcycle (mm) } - 1269 \text{ avec } r^2=0,77$$

#### - Rendement grain et IRESP

La figure n°V.4 présente la très bonne corrélation entre ces deux variables (  $r^2 = 0,91$  ), et l'équation est la suivante:

$$\text{Grain ( kg/ha ) } = 5,65 * \text{ IRESP ( mm ) } - 115$$

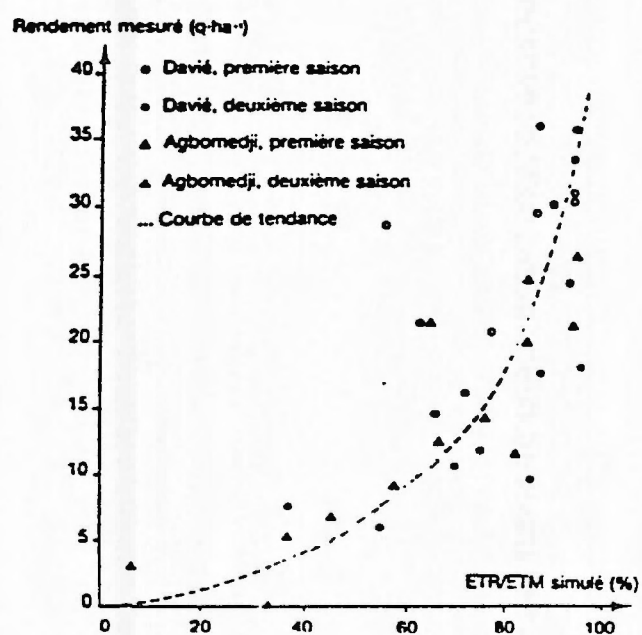
#### - Rendement Grain et ( ETR/ETM ) en période critique

La relation entre les rendements grain et les valeurs de coefficient de satisfaction en eau au moment de la période critique est représentée par la figure n°V.5.

Tant que le coefficient de satisfaction estimé reste inférieur à 70%, les rendements varient peu mais surtout restent très faibles ( entre 0 et 600 kg/ha ). Au delà du seuil des 70%, les rendements fluctuent très vite et peuvent être élevés, tel le cas des parcelles de bas fond avec diguette où l'on enregistre des rendements de 1567 kg/ha à Cabéça Careira et de 1492 kg/ha à Achada Falcão ce qui est considérable au Cap Vert.

Il semblerait que les résultats obtenus ici confirment ceux de R. POSS dans son étude intitulée " Transfert de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de Barre au Togo. Conséquences aronomiques. 1991 " ( Figure n°V.6 page suivante ). Ainsi la " sensibilité du maïs au moment de la floraison appelée période critique et relevée par tous les auteurs ayant travaillé sur cette culture, peut être interprétée en termes de facteurs de risque. La définition d'une stratégie agricole doit viser à obtenir la meilleure satisfaction possible des besoins en eau de la plante au cours de cette phase ".

Figure n°V.6: Relation entre le rendement mesuré et ETR/ETM à la floraison  
(POSS R. et col 1988)





### 5.2.3- Remarques

Sur les figures précédentes, 2 points se détachent nettement des autres. Ils concernent les résultats enregistrés sur les parcelles de bas fond de Cabéça Careira et d'Achada Falcão, cette dernière disposant d'un petit aménagement type diguette. Tout comme nous l'avions souligné l'an passé, il aurait été plus prudent de ne pas considérer ces parcelles comme fonctionnant en pluvial strict mais plutôt en " irrigué " : alors que les autres parcelles étaient à sec après une période de sécheresse intense, ces parcelles continuaient à présenter un profil bien humecté. Ces observations nous ont permis d'avancer l'hypothèse qu'elles étaient soumises à des reports d'eau ( de surface et de profondeur ) provenant des parcelles de versant. Ainsi les cultures en place ont pu mieux passer les périodes difficiles, notamment celle du mois d'octobre ( floraison ).

Concernant la composante garin, en comparant les équations reliant les termes hydriques aux termes agronomiques, obtenues d'une part au niveau des parcelles des gradients ( Figures n°V.3 et .4 ) et d'autre part au niveau de l'ensemble du parcellaire ( Figures n°IV.2, .3 et .4 ), on remarque que les coefficients des pentes sont sensiblement identiques. Autrement dit, en passant de l'échantillon étudié (parcelles des gradients) à l'ensemble de la population ( toutes parcelles ESPACE confondues ), on conserve pratiquement les mêmes coefficients de pente. Ceci tendrait à montrer la représentativité des parcelles des gradients par rapport à l'ensemble de la population ( et donc des situations ) suivies et analysées par le programme ESPACE.

### 5.3- Conclusion

Les résultats des études menées sur les parcelles des gradients "oro-pluviométriques" viennent confirmer les relations ( facteurs hydriques - facteurs agronomiques ) déterminées sur l'ensemble des parcelles ESPACE. Ce constat semble mettre en évidence la représentativité de notre échantillonnage (  $n=19$  parcelles ) par rapport à l'ensemble de la population (  $N=106$  parcelles ).

Les simulations de bilan hydrique sous BIPODE apparaissent beaucoup plus proches de la réalité car elles intègrent le facteur ruissellement si déterminant au Cap Vert quant à la variabilité des rendements. En effet, celle-ci ne peut s'expliquer sans la prise en considération des reports d'eau. L'exemple des parcelles de bas fond des versants de Santa Catarina ( reports d'eau négatifs ) illustre très bien ce cas de figure (parcelles dites assistées).

Aussi des expérimentations sur le ruissellement devront être envisagées pour chaque site suivi par le projet ESPACE afin de pouvoir disposer d'un référentiel nous permettant de mieux caler les coefficients de ruissellement proposés dans BIPODE et qui se réfèrent aux études de Casenave A. et Valentin C. ( 1988 ) réalisées sur des sols de nature différente.

Enfin pour les parcelles de bas fond, un bilan in situ serait à envisager pour mieux comprendre leur fonctionnement hydrique si particulier. Ne fonctionnant pas en pluvial strict, elles devraient faire l'objet de suivis spécifiques (LIDON B., études de bas fond au Mali).



Planche n°1: Dispositifs de ruissellement et d'Erosion



Dispositif n°1: maïs + haricot + paille



Dispositif n° 3.: sol nu ( témoin )



## **VI- CARACTERISATION DES RISQUES DE RUISSELLEMENT ET D'EROSION**

### **6.1- Introduction**

L'agressivité des précipitations au Cap Vert n'est plus à démontrer. Cette caractéristique climatique devient préoccupante dès lors que les sols sont très pentus, fragiles et peu profonds comme dans la plupart des situations morphopédologiques de l'île Santiago. D'où les processus de ruissellement et d'érosion, qui à chaque saison des pluies entraînent à la mer des dizaines de milliers de mètre cube de boue arable qui ne se reconstitueront qu'à une échelle séculaire.

Sur le plan agronomique, la situation est tout aussi alarmante: Les pratiques paysannes traditionnelles sont de nature à accélérer les processus de dégradation du milieu. La quasi totalité des résidus de récolte est exporté pour les animaux entraînant une très faible incorporation de la biomasse végétale aérienne dans les sols. Certes des légumineuses sont cultivées en association avec le maïs ce qui permet en particulier d'assurer une protection du sol. Mais celle-ci devient suffisamment efficace une fois la légumineuse bien développée. Aussi en début d'hivernage les sols se retrouvent à nu, sans aucune protection devant les premières pluies.

Face à cette situation, nous avons procédé dans le cadre du programme ESPACE à une petite expérimentation à Sao Jorge dos Orgãos. Un nouveau système de culture susceptible de maintenir la productivité des sols tout en les protégeant contre le ruissellement et l'érosion a été mis en place: il s'agit du semis direct sous mulch. L'approche expérimentale avait pour objectif principal de mesurer l'effet du semis direct sous mulch sur le ruissellement, l'érosion et la productivité des sols.

### **6.2- Dispositif expérimental**

L'essai a été réalisé sur un versant au lieu dit " Ribeirão Galinha " près de l'Institut de Recherche. Quatre dispositifs de mesure de 4 m<sup>2</sup> ( Annexes2 et Planche n°1 ) ont été mis en place à différentes positions du versant ( annexe14 ):

- Un casier situé en haut de pente ( pente de 35% ) avec l'association maïs haricot ( 4 poquets soit 16 plants de maïs et 12 plants de haricot en moyenne );
- Un casier en haut de pente ( p=35% ) sans culture ( témoin );
- Un casier en haut de pente ( p=35% ) avec l'association maïs haricot plus un mulch constitué de résidus de maïs à raison de 5 kg pour 4 m<sup>2</sup> soit 12500 kg par hectare ce qui paraît réalisable compte tenu des exportations;
- Un dernier casier a été placé en bas de versant (pente < 5%) avec l'association maïs haricot.

Pour répondre aux mêmes conditions physico-chimiques du sol, les 3 premiers casiers ont été installés relativement proches les uns des autres ( quelques mètres seulement ).

Tableau n°VI.2: Lames d'eau ruisselées mesurées sur les différents dispositifs et lames d'eau simulées sous Bipode

DATE	PLUIE		LAME RUISSELEE MESUREE SUR DISPOSITIF ( mm )				LAME RUISSELLEE SIMULEE (mm) avec BIPODE		
	Hauteur (mm)	I30 (mm/h)	1	2	3	4	COEFFICIENT C1	COEFFICIENT C2	COEFFICIENT C3
01/08	14,8	-	0	0	0	0	0	2	3
22/08	2,4	-	0	0	0	0	0	0	0
24/08	10	-	0	0	0	0	0	2	3
31/08	64,6	60	4,0	7,4	7,2	8,2	11	20	50
01/09	2,7	-	0	0	0	0	0	0	0
03/09	2,4	-	0	0	0	0	0	0	0
27/09	6,9	-	0	0	0	0	0	0	1
28/09	73	60	6,5	7,9	12,1	10,0	13	24	56
08/10	11,6	-	0,3	0,2	0,6	1,7	0	2	3
12/10	4,3	-	0	0	0	0	0	0	0
14/10	1,9	-	0	0	0	0	0	0	0

Dispositif n°1: Paille + Maïs + Haricot

Dispositif n°2: Maïs Haricot haut de pente

Dispositif n°3: Sol nu

Dispositif n°4: Maïs Haricot bas de pente

Le tableau n°VI.1 récapitule les principales caractéristiques des 4 dispositifs:

Tableau n°IV.1: Dispositif de mesure des transports liquides et solides à São Jorge

DISPOSITIF	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
CARACTERISTIQUES	PAILLE MAIS-HARICOT HAUT DE PENTE	MAIS-HARICOT HAUT DE PENTE	SOL NU HAUT DE PENTE	MAIS-HARICOT BAS DE PENTE

Les pluies ont été relevées grâce aux pluviomètres "ESPACE" ( Annexe1 ). Des pluviomètres ont été placés au sol ( 30 cm ) pour mesurer la pluie qui arrive réellement sur la surface compte tenu de la couverture végétale une fois l'association maïs haricot ( rempant et grimpant ) en place en milieu de saison.

Les intensités de pluie ( I30mn ) nous ont été communiquées par la station agroclimatique de São Jorge qui se trouve à proximité de l'essai ( moins de 300 mètres ).

Les volumes d'eau ruisselés et de terre transportés ont été mesurés à partir des bidons de stockage.

### 6.3- Résultats-Analyses

#### 6.3.1- Ruissellement et Erosion:

Les tableaux n°VI.2 et VI.3a, 3b et 3c concernent les données recueillies durant la saison des pluies allant du 1 août au 14 octobre, date de la fin des pluies. Durant cette période 3 évènements pluvieux ont donné lieu à du ruissellement et de l'érosion.

Le dispositif n°4 ayant mal fonctionné en cours de campagne, les mesures s'y référant ne seront pas abordées.

Les tableaux attirent un certain nombre de commentaires:

#### \* Tableau n°VI.2:

--> les plus fortes intensités enregistrées ( I30 ) sont survenues lors des évènements pluviométriques les plus élevés. Autrement dit, ce sont les pluies les plus importantes qui ont amené les plus grandes intensités ( plus forte agressivité ).

--> le coefficient C1 de ruissellement, pris en compte dans la simulation du bilan hydrique ( BIPODE ), semble être celui qui se rapproche le plus de la réalité observé.



## Tableaux n°VI.3

TRANSPORTS LIQUIDES ET SOLIDES MESURES A SAO JORGE - ESPACE 1991  
INIA / CIRAD

Tableau n° a : Dispositif n°1 = Paille + Maïs haricot (haut de pente)

DATE	PLUIE (mm)	I30 (mm/h)	Lr (mm)	% PLUIE (%)	Tsolide (kg/4m <sup>2</sup> )	Tsolide (kg/ha)
31/08	64,6	60	3,9	6,0	0,02	50
28/09	73,0	60	6,5	8,9	0,45	1125
08/10	11,6	-	0,3	2,6	0,00	0

Tableau n° b : Dispositif n°2 = Association maïs haricot (haut de pente)

DATE	PLUIE (mm)	I30 (mm/h)	Lr (mm)	% PLUIE (%)	Tsolide (kg/4m <sup>2</sup> )	Tsolide (kg/ha)
31/08	64,6	60	7,4	11,2	0,45	1125
28/09	73,0	60	7,9	10,8	0,50	1250
08/10	11,6	-	0,2	1,7	0,10	250

Tableau n° c : Dispositif n°3 = Sol nu (haut de pente)

DATE	PLUIE (mm)	I30 (mm/h)	Lr (mm)	% PLUIE (%)	Tsolide (kg/4m <sup>2</sup> )	Tsolide (kg/ha)
31/08	64,6	60	7,3	11,4	1,25	3125
28/09	73,0	60	12,1	16,8	5,00	12500
08/10	11,6	-	0,6	4,9	0,20	500

**\* Tableaux n°VI.3a, 3b et 3c:**

--> les plus faibles valeurs de lame ruisselée et de quantité de terre transportée ont été observées sur le dispositif n°1, soit celui qui présentait l'association maïs haricot avec le mulch. Par exemple, si l'on considère la pluie du semis, celle du 31 août où les sols sont généralement à nu, on enregistre sous mulch 6 % de la pluie qui ruisselle. Ce pourcentage s'élève 11,2 et 11,4 pour les dispositifs n°2 et 3, soit pratiquement le double. Pour la pluie du 28 septembre, le ruissellement reste à peu près deux fois plus élevé lorsqu'on passe du dispositif n°1 au dispositif n°3 ( sol nu ). Par contre, on note un rapport beaucoup plus faible, entre les dispositifs n°1 et 2 car la légumineuse couvrant en partie le sol du dispositif assure déjà une certaine protection.

--> concernant les transports solides, les résultats obtenus sous le dispositif n°1 se détachent très nettement des 2 autres. Pour la pluie du 31 août, on enregistre **22** fois plus de terre transportée sous le dispositif n°2 et **62** fois plus sous le dispositif n°3. Pour la pluie du 28 septembre, 5 kg de terre ont été recueillis dans le bidon du dispositif n°3 soit **10** fois plus que sous les dispositifs n°1 et 2 ( Planche n°3 ci-dessous ).

Planche n°3: Transports solides pour la pluie du 29 août

(H = 64,6 mm et I30 = 60 mm/h)



T = 1,25 kg

T = 0,45 kg

T = 0,02 kg



Planche n°2: Plantules de maïs après une période de sécheresse



Dispositif n°1: avec paille ( production de la placette = 0,69 kg de paille )



Dispositif n°2: sans paille ( production de la placette = 0,24 kg de paille )



### 6.3.2- Productivité:

Le tableau n°VI.4 fourni les valeurs de production de paille mesurées sur les dispositifs n°1 et 2. Les pluies n'ayant pas été suffisantes cette année à São Jorge, le maïs n'a pas produit de grain.

Tableau n°VI.4: Rendements paille - Dispositifs n° 1 et 2

DISPOSITIF	N° 1	N° 2
RENDEMENT EN M.S.T.	690 GRAMMES	238 GRAMMES

La production obtenue sur le dispositif n°1 est 3 fois plus élevée. La planche n°2 nous montre les états " sanitaires " des plantules de maïs des deux dispositifs après un épisode sec survenu juste après la levée. On remarque très bien que le maïs sans mulch est déjà sujet à un stress hydrique ( feuilles repliées, rachitiques ). Quant aux plantules de maïs du dispositif n°1, ils ne semblent pas encore souffrir d'un manque d'eau. Un sondage à la tarière avait montré que les couches superficielles de sol sous mulch restaient relativement humides alors qu'il n'en était rien pour le dispositif n°2. Il semblerait que la présence du mulch diminue l'évaporation, surtout en début de cycle, et favorise une meilleure transpiration ( Figure n°VI.1, FOREST F., 1989 page suivante ).

### 6.4- Conclusion

Pour cette première année d'étude, face aux peu de données dont nous disposons, il convient de rester très prudent quant aux résultats obtenus. Cependant il est important de rappeler qu'ils vont dans le même sens que ceux déterminés par FOREST F. au Brésil et VALLEE G. et al au Cameroun. Ces résultats mettent essentiellement en évidence la nécessité d'avoir une bonne couverture du sol, particulièrement durant la première partie de l'hivernage pour:

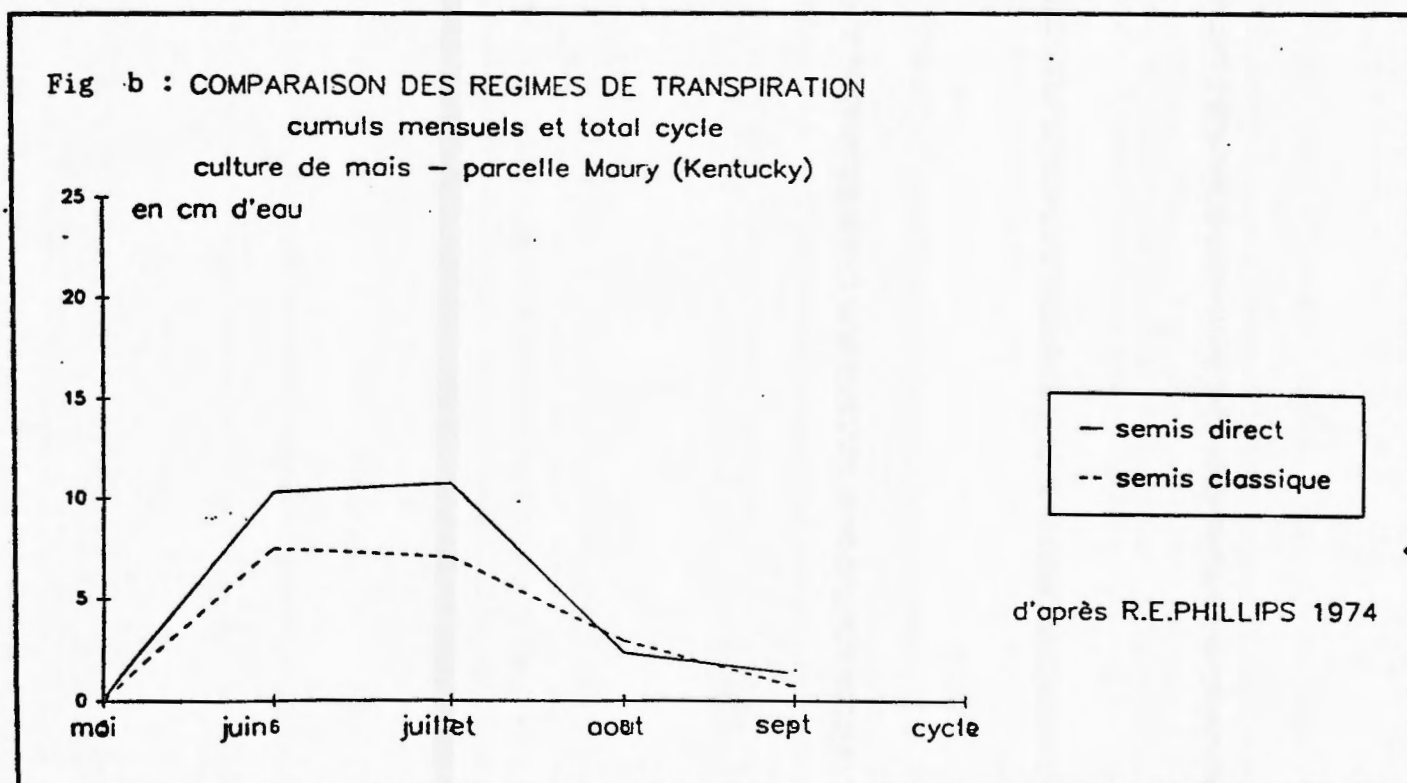
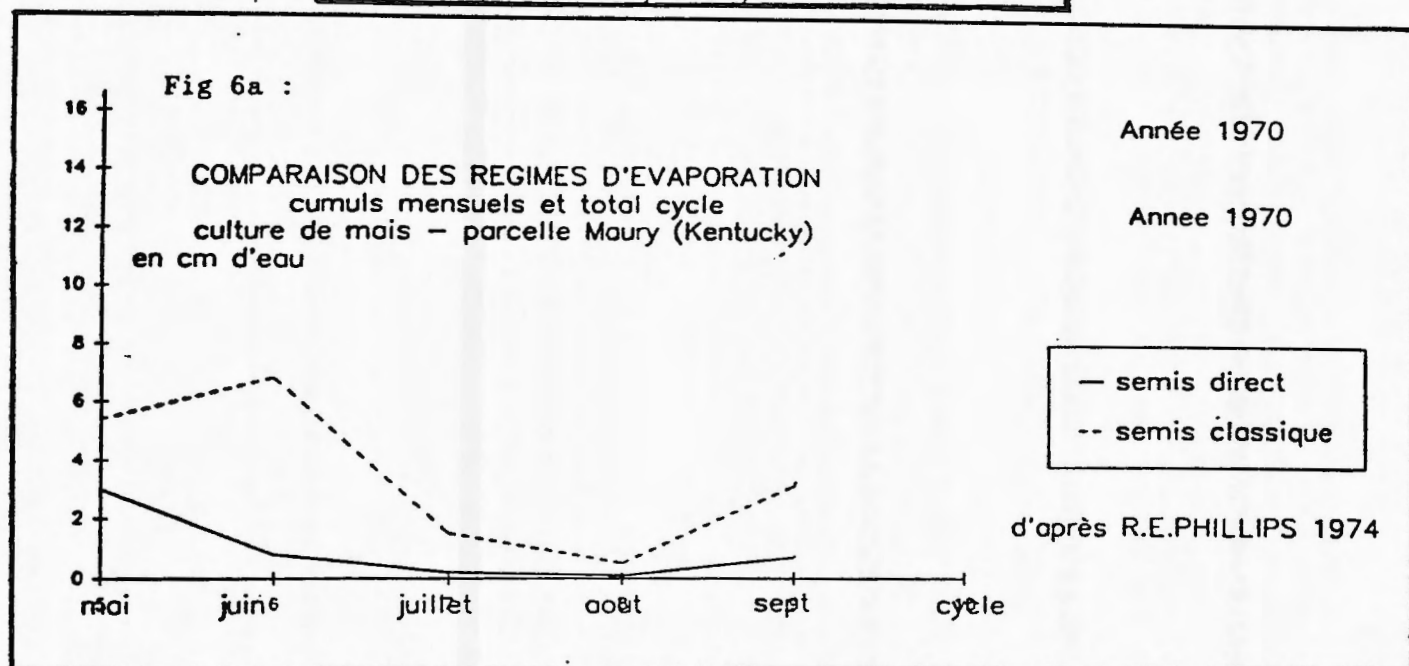
- assurer une protection suffisante des sols contre l'érosion et le ruissellement;
- conserver une certaine humidité dans le sol en limitant l'évaporation. Ceci permettrait aux plantules de mieux passer les périodes sèches qui arrivent juste après les levées et qui obligent très souvent les paysans à effectuer un second semis;
- sécuriser en année sèche la production de matière totale;
- accroître en année "normale" la production de grain ( à vérifier pour 1992 );

La méthode proposée lors de cette expérience a fait appel au mulch pailleux et donc à la matière organique. La quantité expérimentée semble être à la portée des paysans. Néanmoins, une étude sur la " sustainability " d'un tel système de cultures serait à envisager dans les années à venir au Cap Vert:

- disponibilité en paille compte tenu des exportations massives pour la consommation par les animaux;
- gain attendu de la technique du mulching susceptible d'améliorer le bilan fourrager;
- identification des zones agroclimatiques où cette technique serait recevable;
- lancement d'action de développement ( termes de référence d'un futur projet R - D ).

Figure n°VI.1:

Fig a : Influence du semis direct sur l'ETR  
(FOREST F., 1989)





## VII- CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS

Les résultats " ESPACE " de la campagne 1991 ont été tout à fait satisfaisants dans la mesure où ils nous ont permis de mettre en évidence, autant à l'échelle des parcelles que des sites, des relations simples entre les termes du bilan hydrique ( ETRcycle, IRESP ) et les termes agronomiques dont le rendement grain et matière sèche totale.

L'étude a aussi mis en évidence la grande hétérogénéité des situations agro-pédo-climatiques rencontrées et l'extrême variabilité des rendements qui en découle.

Aussi pour une plus grande efficacité, le suivi d'hivernage dans le cadre du programme ESPACE devra avoir comme souci majeur:

- Une plus grande répartition sur l'île des sites suivis: pour 1992, il est prévu d'ajouter 2 à 4 autres sites dont 2 à Tarrafal et 2 à Santa Cruz;
- Une meilleure connaissance des réserves utiles en eau qui, compte tenu de la particularité des sols volcaniques, devront être mieux cernées pour des simulations de bilan plus justes;
- Une meilleure connaissance des reports d'eau, en particulier ceux de surface. Pour 1992, chaque site suivi disposera de 1 à 2 dispositifs de ruissellement et d'érosion identique à celui mis en place cette année à São Jorge. Robustes, simples et relativement bon marché ( 700 FF l'unité ), ces dispositifs nous permettront de disposer d'un référentiel de données sur le ruissellement nous autorisant, pour chaque situation rencontrée, de prendre en compte dans nos simulations des coefficients de ruissellement les plus proches de la réalité.

L'expérimentation agronomique menée à São Jorge nous a aussi permis de constater que le mulch de paille contribuait fortement à améliorer l'alimentation hydrique du maïs grâce à son action sur le contrôle du ruissellement et de l'érosion, améliorant ainsi les possibilités d'infiltration des pluies et le stockage de l'eau dans les zones racinaires. Ses effets sur la productivité du sol ont été soulignés, et ceci nous encourage à multiplier cet essai pour la campagne 1992 en jouant sur la diversification des sites suivis ( couverture de l'ensemble des zones agricoles de l'île Santiago ). Ajoutons que cette pratique culturale n'est pas nouvelle, elle est déjà bien connue dans d'autres pays tel le Brésil, le Nigéria,.. où il a été montré l'efficacité des techniques du semis direct dans une couverture morte dans la lutte contre l'érosion et le ruissellement.

Compte tenu des conditions générales extrêmement difficiles que connaît le Cap Vert pour l'alimentation des animaux, notamment en période de soudure et particulièrement en année sèche, ce système de culture peut être une solution intéressante car il semble améliorer considérablement l'espérance de production de fourrage ( MST ). Toutefois sa mise en oeuvre impliquera sans aucun doute un profond changement des mentalités et des pratiques culturales sans lequel le maintien du capital " Sol - Fertilité " au Cap Vert ne pourra être assuré.

## BIBLIOGRAPHIE

### AUTEURS

- CHOPART J.L., KONE D., 1985. Influence des techniques culturales sur l'alimentation hydrique du maïs et du cotonier. Agron. Trop. 40 (3).
- CORTIER B., POCHTIER G., IMBERNON J., 1988. Le maïs au Sénégal: effets des techniques culturales et des conditions hydriques en culture pluviale. L'Agron. Trop., 43 (2): 85-90.
- FOREST F., REYNIERS F.N., 1986. Proposals for the classification of agroclimatic situations of upland rice in terms of water balace. Progress in rice research: 93-106. IRRI. Los Banos.
- FOREST F., 1989. Contribution à une connaissance approfondie des conditions de milieu en relation avec la technique du semis direct. IRAT, Fondation ABC ( Parana, Brésil ). 42p.
- FRETEAU J.P., POSS R., SARAGONI H., 1987. Ajustement d'un modèle de bilan hydrique à des mesures tensio-neutroniques in situ sous culture de maïs. L'Agron. Trop., 42 (2): 94-103.
- IKE I.F., 1987. Maize and cotton yield responses to different tillage practices in a sandy loam soil of the nigérian savanna. Samaru Journal of Agricultural Research. Vol.5, n°1-2, p 25 à 34.
- LOPEZ J.M., 1990. Contribution à l'élaboration d'un modèle agrométéorologique simple de prévision de rendement pour la culture du maïs au Cap Vert. ESPACE 1990. INIA-CIRAD. 57p.
- MANICHON H., SEBILLOTE S., JAN P., BODET J.M., 1980. Les effets sur les systèmes de culture. Perspectives Agricoles ( Spécial Semis Direct ). n°34, p 38 à 43.
- MARCHAND P., 1988. Comparaison de modèles de bilan hydrique. Modélisation stockastique ou déterministe. Thèse ING IRAT, Grenoble.
- PHILLIPS R.E., 1985. No tillage agriculture. Principles and practises. Van Nostrand Reinhold Copany Inc.135 West, 50 th street New York city 10020.
- POSS R., 1991. Transfert de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de Barre du Togo. Conséquences agronomiques. Thèse Université Paris 6. 300 p.
- REYNIERS F.N., FOREST F., 1990. La pluie n'est pas le seul remède à la sècheresse en Afrique. Revue Sècheresse n°2, mai 1990.
- SENA MARTINS D.A., 1986. La désertification au Cap Vert. São Jorge. Santiago.

## **COLLECTIFS**

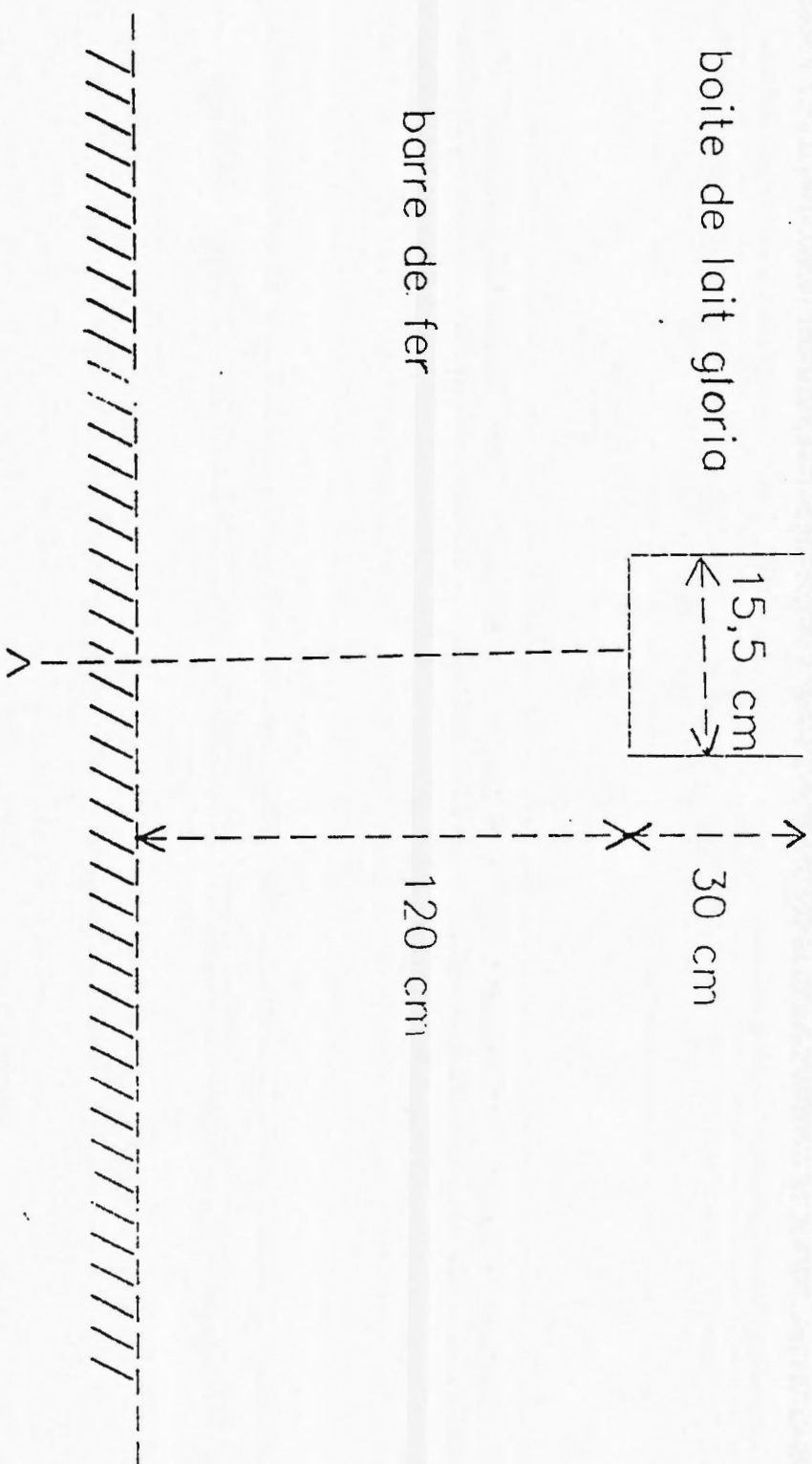
- Atelier R3S, 1990. Amélioration de l'alimentation hydrique des cultures. Bamako, Mali, avril 1990.
- Atelier ESPACE CNRU, 1990. Evaluation et suivi de la production au Sahel. Bambey, Sénégal, février 1990.
- Atelier ESPACE Cap Vert, 1991. Evaluation et suivi de la production agricole en fonction du climat et de l'environnement. Vol.1, Rapport de campagne 1990. Projet Flux Céréaliier. Mindelo, Cap Vert, mars 1991.

## **ANNEXES**

PLUVIOMETRE ESPACE 91 AU CAP-VFRT

lral / lnia

ANNEXE 1

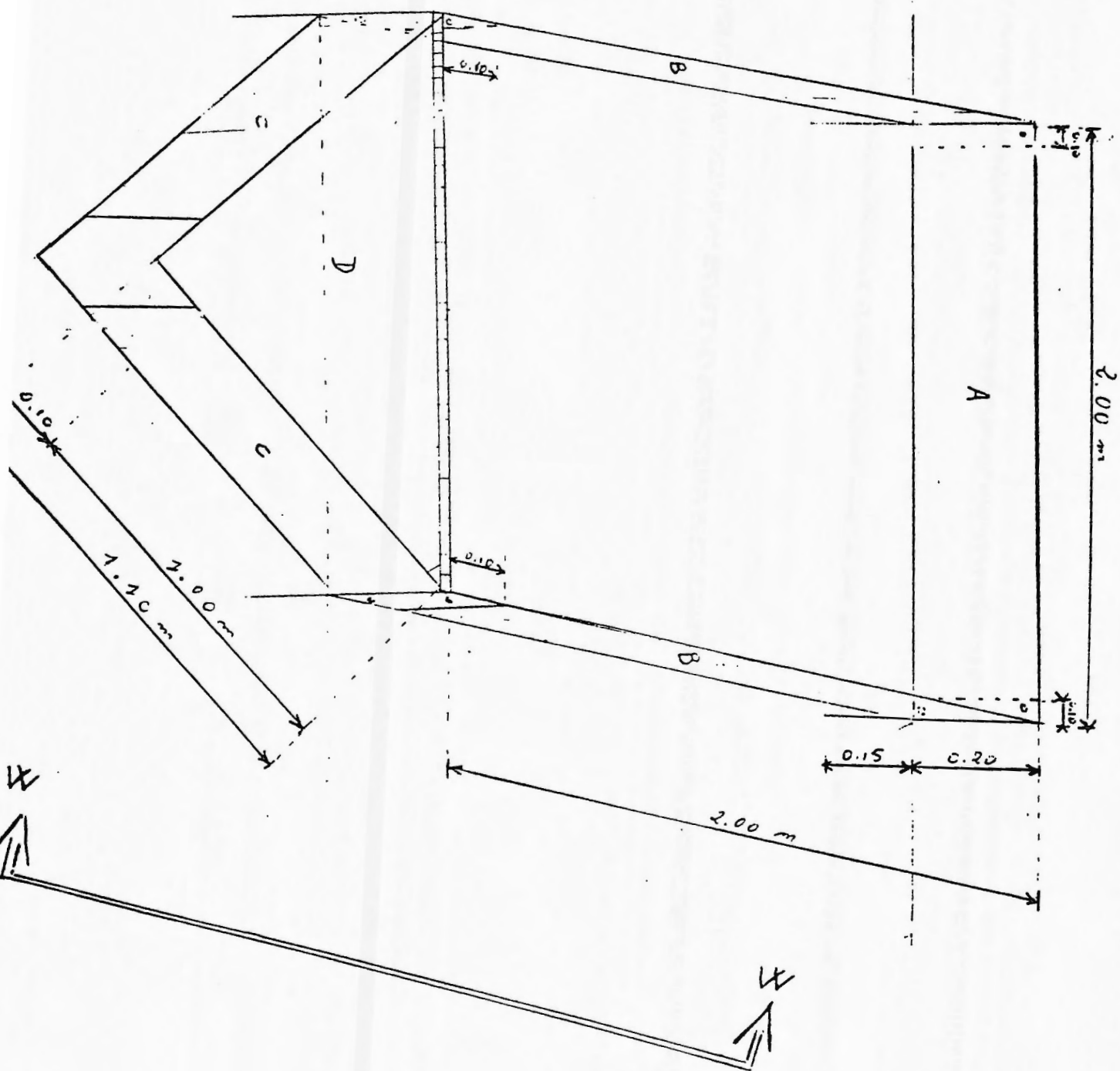


**ANNEXE2**

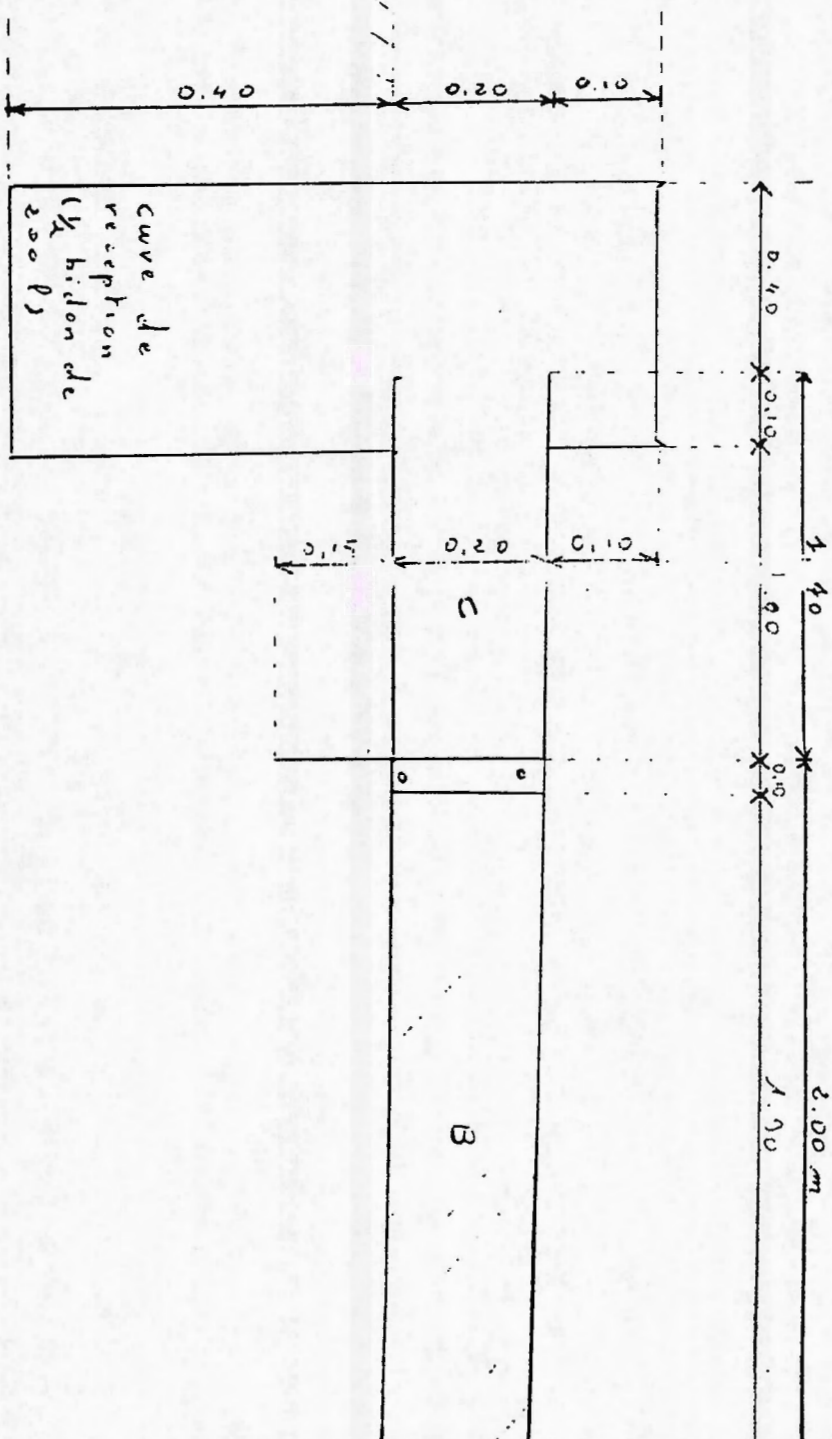
**DISPOSITIF D'ETUDE DU RUISSELLEMENT**

**ESPACE CAP VERT 1991**



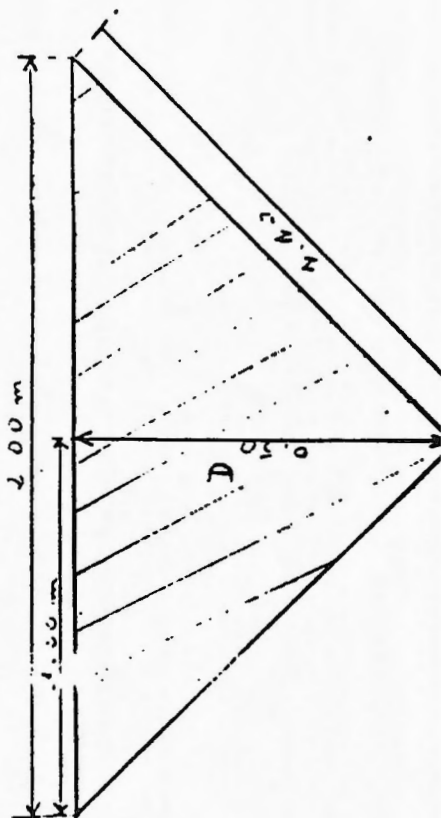
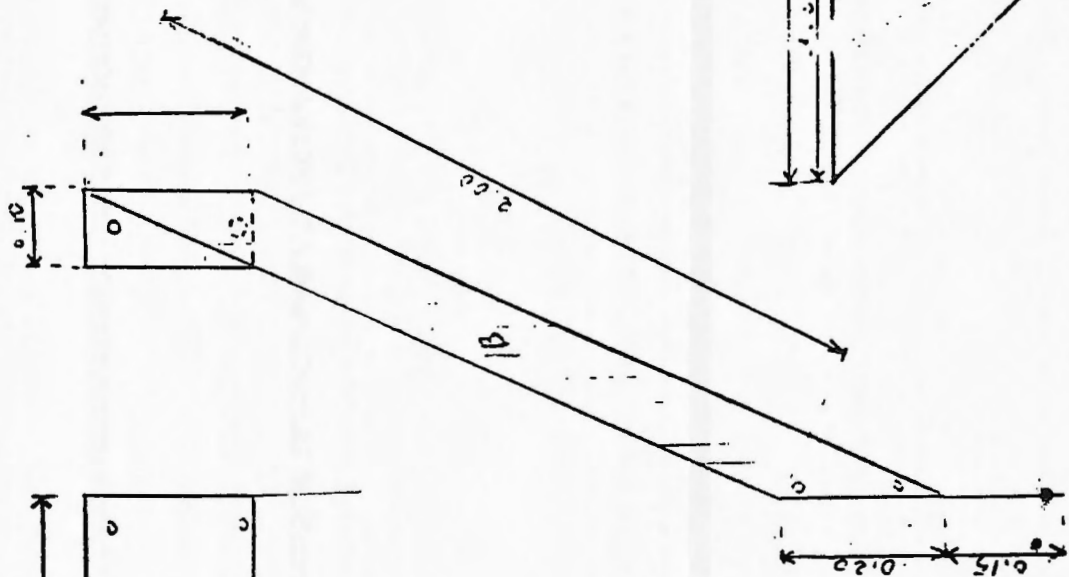
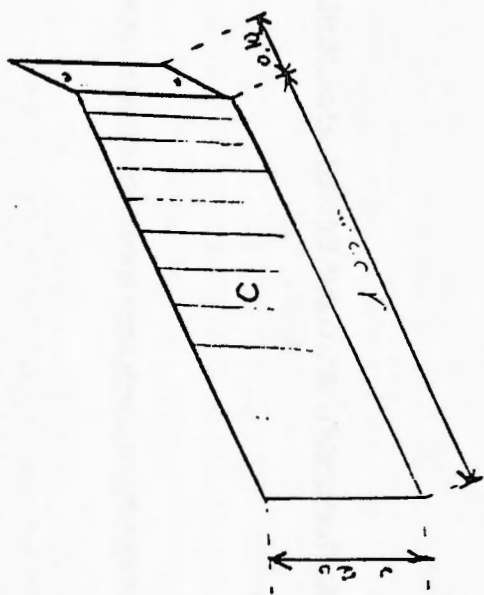


# COUPE W. W



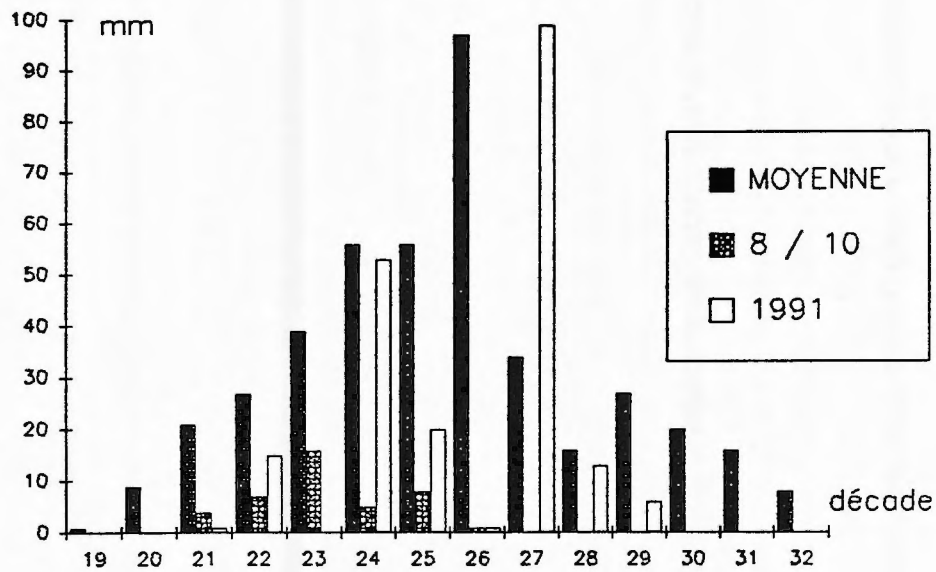
Sol

# LES DIFFÉRENTES PIÈCES



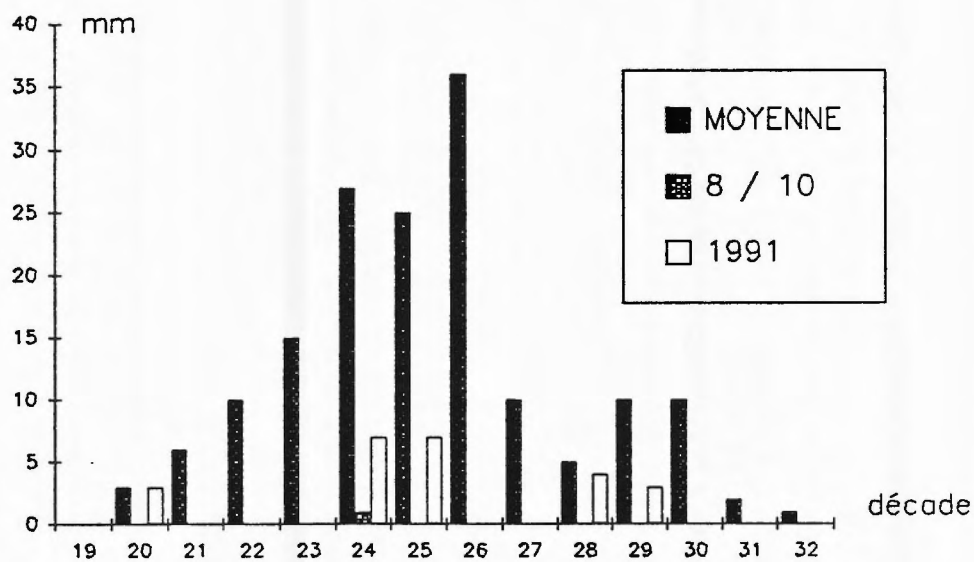
**ANALYSE PLUVIOMETRIQUE SAO JORGE**

Période 1961 / 1991



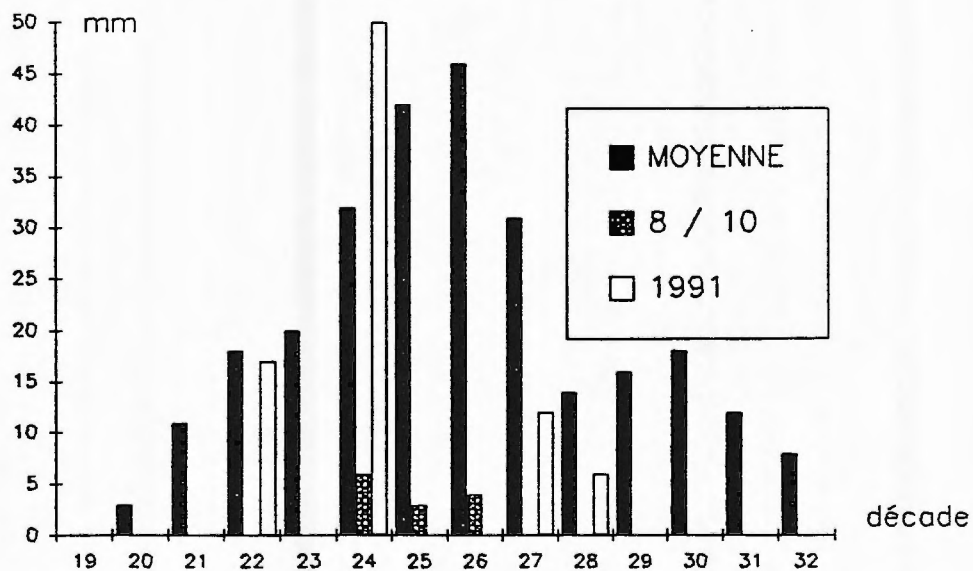
**ANALYSE PLUVIOMETRIQUE PRAIA**

Période 1961 / 1991



**ANALYSE PLUVIOMETRIQUE SAO DOMINGO**

Période 1961 / 1991



## Annexe4: ETP Penman décadaires pour 1991

ETPpenman décadaires (mm) des 3 stations de références en 1991

S.DO: Station de Sao Domingo ( alt = 247 m )

S.JO: Station de Sao Jorge ( alt = 350 m )

S.CA: Station de Santa Catarina ( alt = 550 m )

	S.DO 1°Dé	S.DO 2°Dé	S.DO 3°Dé	S.JO 1°Dé	S.JO 2°Dé	S.JO 3°Dé	S.CA 1°Dé	S.CA 2°Dé	S.CA 3°Dé
Jan	55	61	67	48	49	57	59	53	62
Fév	68	61	53	54	52	46	63	57	47
Mai	60	66	63	53	57	59	55	60	60
Avr	60	61	61	54	54	51	55	54	52
Mar	-	-	-	47	46	46	45	45	44
Jui	-	-	-	44	41	40	43	44	41
Jut	44	41	61	38	39	43	40	27	40
Aou	42	46	52	37	42	48	36	42	47
Sep	51	53	61	46	48	49	48	51	52
Oct	58	60	58	51	48	51	52	51	52
Nov	63	100	100	48	100	100	60	100	100
Déc	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sources: Département d'Agroclimatologie - Hydrologie de S.Jorge

ETP Penman décadaires (mm) déterminées en fonction de l'altitude moyenne pour les sous sites ESPACE91

	Pinh 1°Dé (*)	Pinh 2°Dé (*)	Pinh 3°Dé (*)	Bana 1°Dé (*)	Bana 2°Dé (*)	Bana 3°Dé (*)	O.Pé 1°Dé (*)	O.Pé 2°Dé (*)	O.Pé 3°Dé (*)
Ja	48	49	57	53	58	64	51	55	62
Fé	54	52	46	64	58	51	61	56	49
Ma	53	57	59	58	63	62	56	61	61
Av	54	54	51	58	59	58	57	57	56
Ma	47	46	46	-	-	-	-	-	-
Ju	44	44	40	-	-	-	-	-	-
Ju	38	39	43	42	40	56	41	40	51
Ao	37	42	48	41	45	51	39	44	50
Se	46	48	49	50	52	58	48	50	55
Oc	51	48	51	56	57	56	54	54	54
No	61			62			62		
Dé	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Zones de Pinhas (Pinh) et de Banana (Bana) = Site de Sao Domingo

Zone de Orgao Péqueno (O.Pé) = Site de Sao Jorge

(\*): Relief très accidenté

ETP Penman décadaires (mm) déterminées en fonction de l'altitude moyenne pour les sous sites ESPACE91

	Pico 1°Dé (*)	Pico 2°Dé (*)	Pico 3°Dé (*)	Carr 1°Dé (**)	Carr 2°Dé (**)	Carr 3°Dé (**)	Falc 1°Dé (**)	Falc 2°Dé (**)	Falc 3°Dé (**)
Ja	45	48	56	54	53	62	54	53	62
Fé	52	51	46	63	57	47	63	57	47
Ma	53	56	59	55	60	60	55	60	60
Av	54	54	51	55	54	52	55	54	52
Ma	47	46	46	45	45	44	45	45	44
Ju	44	40	40	43	44	41	43	44	41
Ju	38	39	43	40	37	40	40	37	40
Ao	37	42	48	36	42	47	36	42	47
Se	46	47	48	48	51	52	48	51	52
Oc	51	47	51	51	52	51	51	52	51
No	61			60			60		
Dé	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Zone de Picos (Pico) = Site de Picos

Zones de C.Carreira (Carr) et de A.Falcao (Falc)=Site S.Catarina

(\*): Relief très accidenté

(\*\*): Relief faiblement accidenté

# Annexe5: Dates d'observation des stades végétatifs du maïs

Dates d'observation des stades végétatifs du maïs  
Santiago - Sites ESPACE 1991

Stade Végétatif	S.Domingo Sanana	S.Jorge	Picos	S.Cararina C.Careira	S.Catarina A.Falcao
Semis	01/09	01/09	25/08	21/07 ..	21/07 ..
Levée	05/09	05/09	28/08	15/08	15/08
1/2 F.					
2/3 F.					
3/4 F.	10/09		02/09		
4/5 F.	13/09	13/09			
5/6 F.				02/09	02/09
6/7 F.			16/09		
7/8 F.	23/09	24/09			
8/9 F.			26/09		
9/10 F.	01/10	01/10		19/09	
10/11 F.			01/10	26/09	19/09
+ de 11 F.	19/10	10/10			26/09
Apparition de la panicule mâle			19/10	04/10	04/10
Floraison 50% des spikes			29/10	10/10	10/10
Grain laiteux (80% H2O)					
Grain laiteux- pateux					
Grain pateux(50 à 70% H2O)			28/11	15/11	15/11
Grain vitreux- maturation			15/12	30/11	30/11

\* : Semis effectué en humide ( 1° semis en sec perdu )

\*\* : Semis en sec



Annexe6: Coefficients culturaux du maïs pour différents stades

STADES VEGETATIFS	DENOMINATION	COEFFICIENT
1	LEVEE	0,30
1	LEVEE	0,30
2	4 FEUILLES	0,30
3	6 FEUILLES	0,40
5	8 FEUILLES	0,60
7	PANICULE MALE	1,00
8	FLORAISON	1,10
9	GRAIN LAITEUX	1,00
10	GRAIN LA. - PATEUX	0,95
11	GRAIN PATEUX	0,90
12	GRAIN VITREUX MAT.	0,80
12	GRAIN VITREUX MAT.	0,80

## Annexe7: ALIMENTATION HYDRIQUE ET RENDEMENT MAIS

ESPACE 1991 CAP VERT ( INIA / CIRAD )

Parcelle N°	RU (mm)	ETRCy (mm)	IRESP (mm)	RdtGra (kg/ha)	RdtMST (kg/ha)
5	60	66.7	2.5	0	193
9	90	72.3	2.7	0	258
12	120	72.5	2.8	0	686
13	60	71.5	2.4	0	396
14	60	71.6	2.5	0	490
15	60	71.6	2.5	0	409
16	120	69.6	1.4	0	1706
17	90	69.6	1.4	0	698
18	120	69.6	1.4	0	1449
19	60	68.9	1.1	0	1082
20	120	66	0.0	0	988
21	90	66	0.0	0	567
22	90	66	0.0	0	543
23	90	66	0.0	0	640
24	90	66	0.0	0	973
25	90	66	0.0	0	885
26	60	66	0.0	0	323
28	60	66	0.0	0	202
31	120	90.7	12	0	1283
32	90	90.7	12	0	661
33	40	76.4	6.6	0	188
35	120	90.7	12	0	2100
36	90	90.7	12	0	1217
37	60	89.8	11.5	0	474
38	90	83.8	9.5	0	845
39	90	83.2	9.5	0	1279
40	90	83.8	9.5	0	684
41	90	83.8	9.5	0	939
42	90	83.8	9.5	0	715
43	60	92.4	13.5	0	433
44	90	93.7	14.2	0	861
45	60	92.4	13.5	0	113
46	90	84.3	8	0	484
48	90	84.3	8	0	917
49	60	84.3	8	0	534
50	90	86.3	8.8	0	1021
51	60	86.9	8.6	0	199
52	40	77.1	6.7	0	61
53	120	86.3	8.8	0	1923
54	120	86.3	8.8	0	1567
55	90	86.3	8.8	0	664
56	60	76.6	4.9	0	768
57	40	74.6	4.7	0	214
58	90	77	5.2	0	866
59	90	76.9	5.2	0	640
60	60	76.6	4.9	0	581
61	120	166.6	99.5	337	2498

ALIMENTATION HYDRIQUE ET RENDEMENTS MAIS  
 ESPACE 1991 CAP VERT SANTIAGO (INIA/CIRAD)

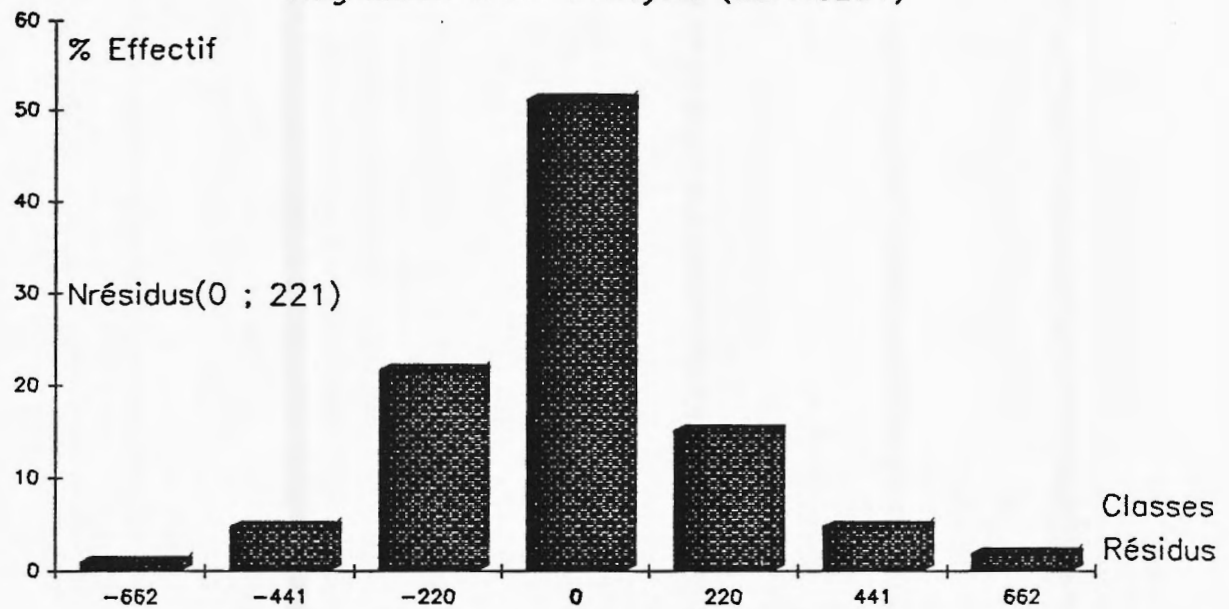
Parcelle	RU	ETRcy	IRESP	RdtGrain	RdtMST
N°	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/ha)	(kg/ha)
62	60	106.4	31.2	0	445
63	90	136.6	67.7	141	1490
64	120	166.6	99.5	171	3818
65	120	166.6	99.5	91	3535
66	90	136.6	67.7	101	3470
67	120	167.6	100.4	849	5235
68	120	167.6	100.4	218	2125
69	90	137.6	68.3	59	1065
70	90	136.6	67.7	0	770
71	60	106.4	31.2	20	779
72	60	106.4	31.2	87	1119
73	60	106.4	31.2	117	2343
74	90	136.6	67.7	224	4927
75	120	166.6	99.5	683	4236
76	90	136.6	67.7	178	1907
77	120	169.6	103.7	1073	5381
78	120	169.6	103.7	516	3419
79	90	139.6	71.2	250	2877
80	90	139.6	71.2	68	1418
81	120	169.6	103.7	662	4079
82	120	169.6	103.7	492	4455
83	120	169.6	103.7	1151	5571
84	120	169.6	103.7	451	3729
85	120	169.6	103.7	572	3517
86	90	139.6	71.2	195	2769
87	60	109.4	34.4	63	1806
88	120	169.6	103.7	364	3209
89	90	139.6	71.2	196	2525
90	90	139.6	71.2	173	2427
91	150	235.3	175.9	1552	5380
92	120	207.5	158.7	976	4038
93	120	207.5	175.9	978	4251
94	150	235.3	175.9	1361	5101
95	120	202.5	150.5	580	2549
96	120	202.5	150.5	697	3100
97	120	202.5	150.5	838	4161
98	120	202.5	150.5	971	4309
99	120	202.5	150.5	711	3549
100	120	202.5	150.5	952	4495

ALIMENTATION HYDRIQUE ET RENDEMENT MAIS  
 ESPACE 1991 CAP VERT SANTIAGO (INIA/CIRAD)

Parcelle N°	RU (mm)	ETRcy (mm)	IRESP (mm)	RdtGra (kg/ha)	RdtMST (kg/ha)
101	120	202.5	150.5	656	2829
102	120	202.5	150.5	725	3461
103	150	231.5	168.9	1493	4263
104	90	173.5	116.4	640	3418
105	90	173.5	116.4	427	3028
106	40	111.7	39.3	79	1790
107	150	219.0	148.6	1568	5759
108	60	133.9	64.1	387	2160
109	60	133.9	64.1	321	1813
110	40	106.8	35.9	120	1307
111	90	182.7	93.5	0	311
112	90	163.8	109.6	173	1476
113	40	103.1	35.5	110	1194
114	90	162.5	108.9	643	3071
115	60	132.5	62.9	315	2944
116	40	101.8	34.8	91	1180
117	90	162.5	108.9	871	3396
118	90	162.5	108.9	795	3595
119	120	192.6	135.7	1590	6089
120	120	192.6	135.7	1107	4910

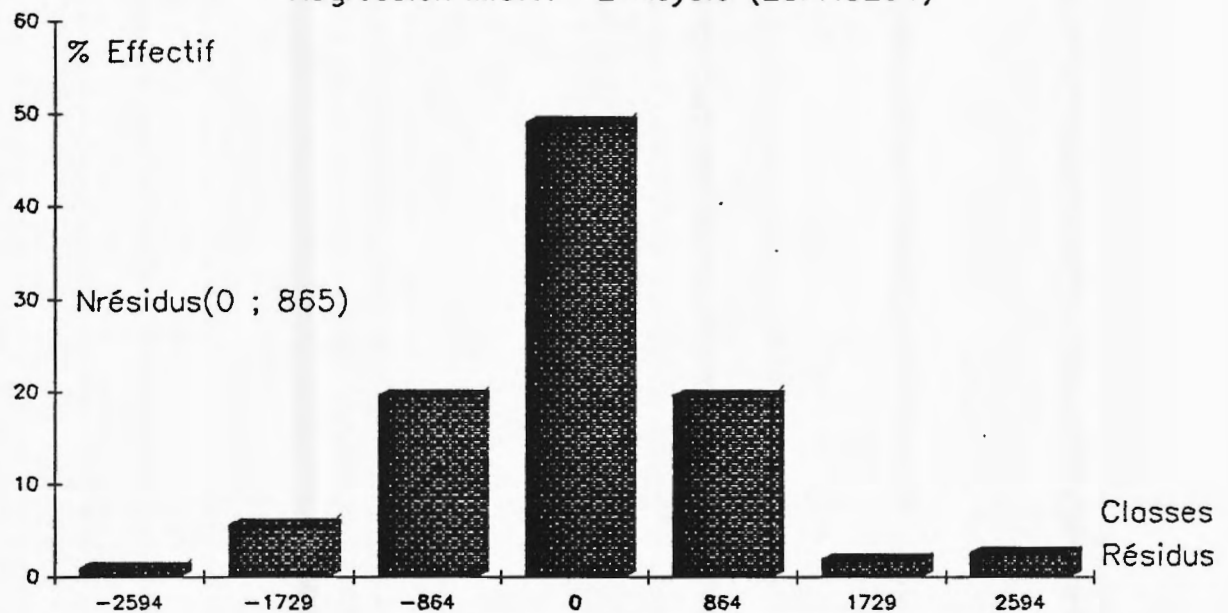
# Annexe8: FREQUENCE RELATIVE DES RESIDUS CENTRES-REDUITS

## Régression Grain-ETRcycle (ESPACE91)



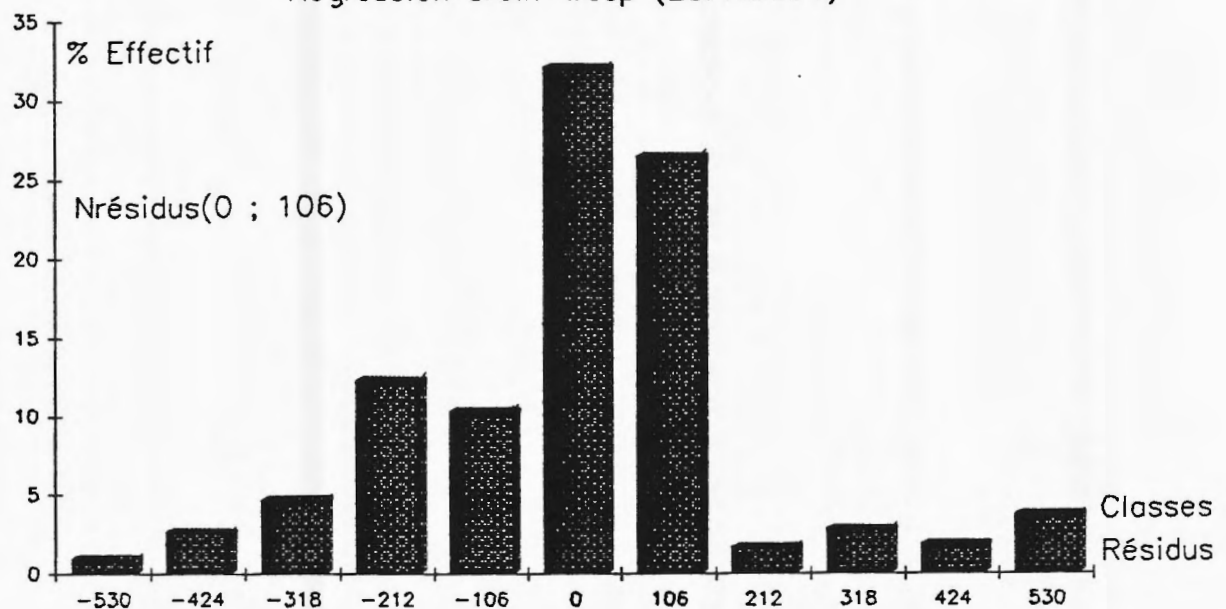
# FREQUENCE RELATIVE DES RESIDUS CENTRES-REDUITS

## Régression M.S.T.- ETRcycle (ESPACE91)



# FREQUENCE RELATIVE DES RESIDUS CENTRES-REDUITS

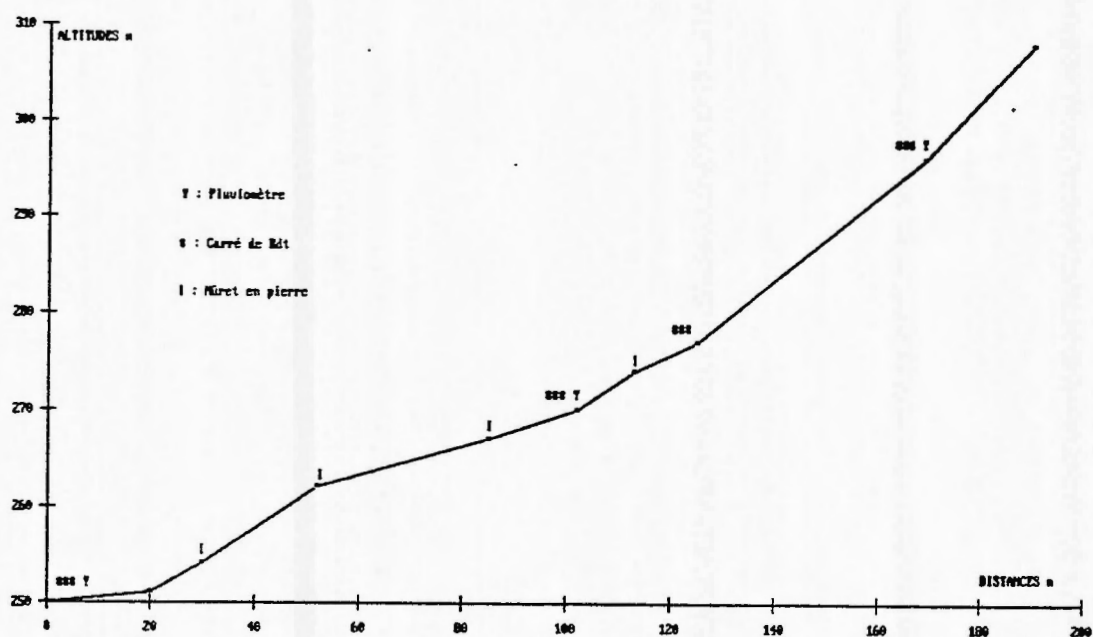
## Régression Grain-Iresp (ESPACE91)



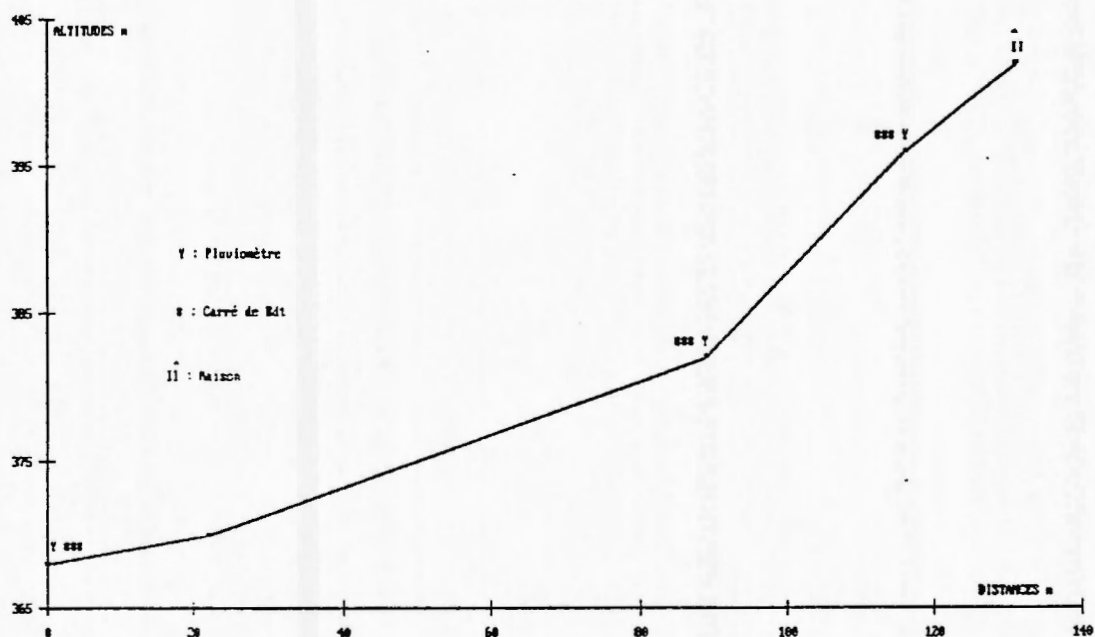


# Annexe9: Topographie des gradients " ESPACE " suivi en 1991

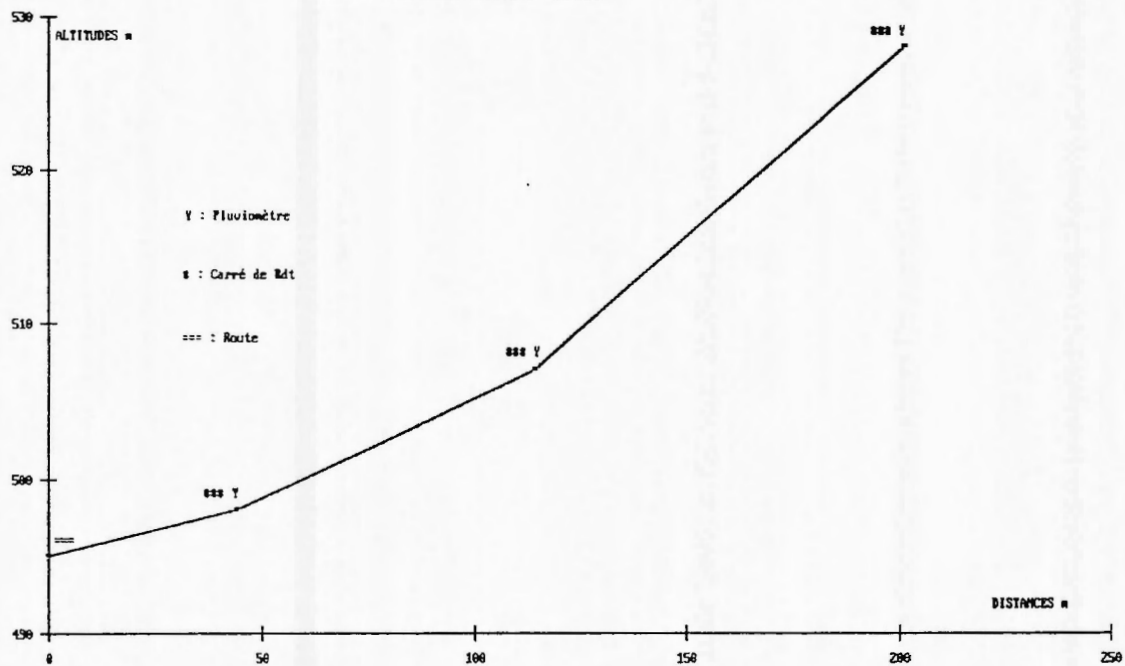
TOPOGRAPHIE DU GRADIENT DE BIVANN



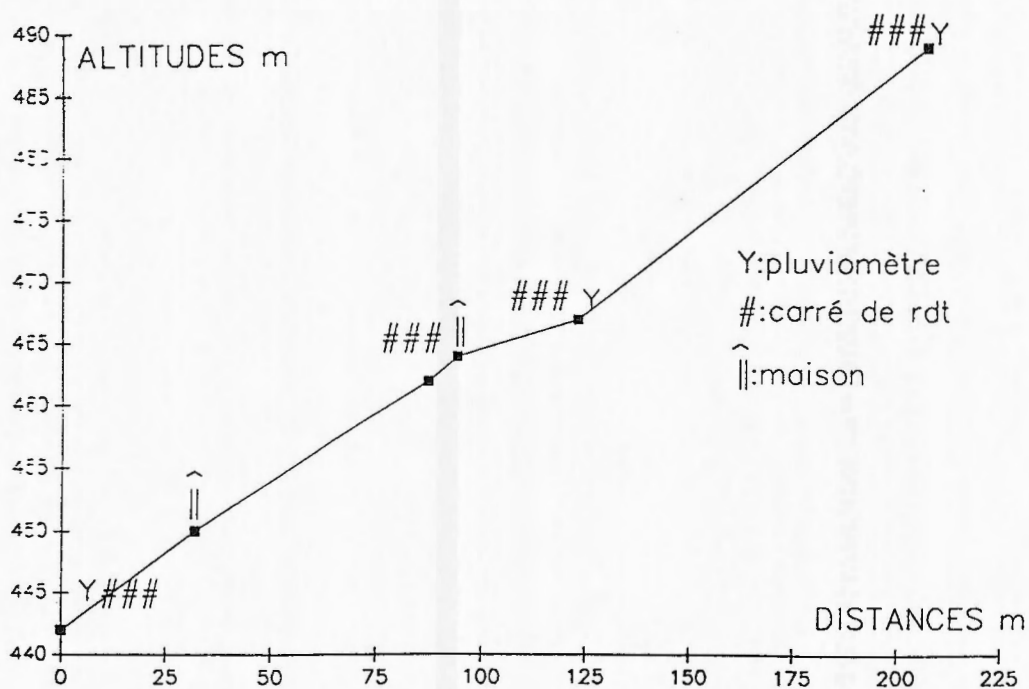
TOPOGRAPHIE DU GRADIENT DE PICOS



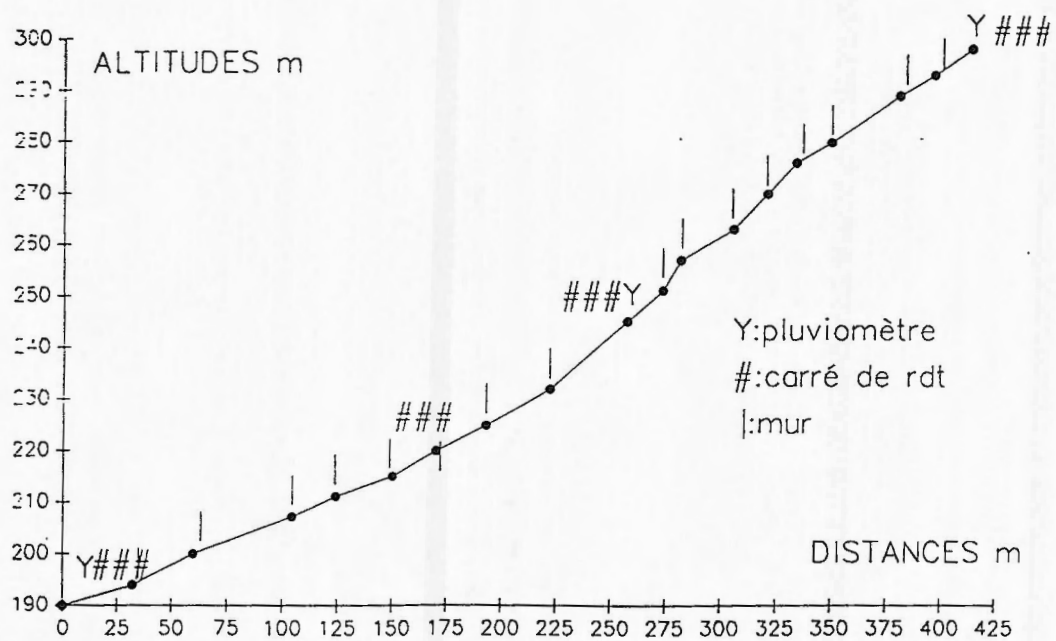
# TOPOGRAPHIE DU GRADIENT D'ACHADA ONDEIRA



# TOPOGRAPHIE DU GRADIENT DE ACHADA FALCAO



# TOPOGRAPHIE DU GRADIENT DE VASCONCELOS



**Annexe10: RESERVES UTILES POUR LES PARCELLES DES GRADIENTS  
ORO-PLUVIOMETRIQUES SUIVIES PAR ESPACE 1991 - SANTIAGO**

Laboratoire des sols de l'INIA Sao Jorge 1991

Fraction d'élément donné en %

A:argile L:limon S:sable RUc:réserve utile cumulée

[illegible]



# Annex11: Termes du bilan hydrique des parcelles de gradients

Termes du bilan hydrique des parcelles des gradients  
oro-pluviométriques des sites ESPACE 1991 - Santiago

SITES	PARCELLE	PLUIE (mm)	ROSEE (mm)	APPORT EXT. (mm)	RUISS. (mm)	DRAIN. (mm)
BANANA (S.D.)	Bas Fond(*)	90	21	00	21	00
	Bas-Pente	86	21	00	20	00
	Milieu-Pente	86	21	00	18	00
	Haut-Pente	82	21	00	18	00
S.JORGE	Bas-Pente(1)	112	17	00	25	00
	Bas-Pente(2)	112	17	00	26	00
	Milieu-Pente	115	17	00	26	00
	Haut-Pente	110	17	00	25	00
PICOS	Bas-Pente	252	18	00	73	00
	Milieu-Pente	255	18	00	40	64
	Haut-Pente	256	18	00	41	35
C.CAREIRA (S.C.)	Bas-Pente(1)	343	22	88	136	58
	Bas-Pente(2)	342	22	00	100	50
	Milieu-Pente	342	22	00	100	72
	Haut-Pente	336	22	00	100	87
A.FALCAO (S.C.)	Bas-Fond(*)	367	22	111	155	66
	Bas-Pente	367	22	00	120	74
	Milieu-Pente	373	22	00	118	86
	Haut-Pente	376	22	00	119	85

S.D.: Sao Domingo

S.C.: Cabeça Careira

(\*): Parcelle de bas fond avec diguette

Suite tableau: Termes du bilan hydrique des parcelles des  
gradients oro-pluviométriques des sites ESPACE 1991 - Santiago

SITES	PARCELLE	ETH cyc. (mm)	ETR cyc. (mm)	ETR / ETH cyc. (mm)	ETR Oct (%)	ETR Nov (%)	IRESP (mm)
BANANA (S.D.)	Bas Fond(*)	356	103	29	45	9	9
	Bas-Pente	366	99	27	47	3	3
	Milieu-Pente	366	99	27	48	2	2
	Haut-Pente	366	97	27	46	1	1
S.JORGE	Bas-Pente(1)	359	119	33	58	11	13
	Bas-Pente(2)	359	119	33	58	11	13
	Milieu-Pente	358	97	27	50	1	1
	Haut-Pente	357	117	33	63	7	8
PICOS	Bas-Pente	460	190	41	74	51	97
	Milieu-Pente	460	155	34	61	35	54
	Haut-Pente	460	156	34	60	35	54
C.CAREIRA (S.C.)	Bas-Pente(1)	529	297	56	86	20	255
	Bas-Pente(2)	527	227	43	63	7	143
	Milieu-Pente	527	184	35	46	0	85
	Haut-Pente	527	177	34	41	0	73
A.FALCAO (S.C.)	Bas-Fond(*)	529	303	57	87	20	264
	Bas-Pente	527	215	41	59	2	127
	Milieu-Pente	527	193	37	50	0	96
	Haut-Pente	527	198	38	52	0	103

S.D.: Sao Domingo

S.C.: Cabeça Careira

(\*): Parcelle de bas fond avec diguette

ETR/ETH Oct: Moyenne des ETR/ETH décadaires d'Octobre ( 50%

floraison pour le site de Santa Catarina )

ETR/ETH Nov: Moyenne des ETR/ETH décadaires de Novembre sauf pour

le site de Picos ( 50% floraison à la première décade du mois )

IRESP = ETRcycle \* (ETR/ETH)pc ( plus faible valeur décadaire  
entre les mois d'Octobre et de Novembre pour S.Domingo, S.Jorge  
et Picos )

IRESP = ETRcycle \* (ETR/ETH)pc ( valeur moyenne décadaire du mois  
d'Octobre pour S.Catarina )

## Annexe12:

Résultats Agronomiques des parcelles des gradients  
oro-pluviométriques des sites ESPACE 1991 - Santiago

	PARCELLE	RENDEMENT H.S.T. (kg/ha)	RENDEMENT GRAIN (kg/ha)
BANANA (S.D.)	Bas Fond(*)	1365	0
	Bas-Pente	697	0
	Milieu-Pente	1159	0
	Haut-Pente	865	0
S. JORGE	Bas-Pente(1)	1282	0
	Bas-Pente(2)	619	0
	Milieu-Pente	150	0
	Haut-Pente	-	0
PICOS	Bas-Pente	3927	170
	Milieu-Pente	2922	72
	Haut-Pente	2814	80
C. CAREIRA (S.C.)	Bas-Pente(1)	6237	1567
	Bas-Pente(2)	2205	387
	Milieu-Pente	1925	321
	Haut-Pente	1440	118
A. FALCAO (S.C.)	Bas-Fond(*)	4390	1492
	Bas-Pente	3620	640
	Milieu-Pente	3170	428
	Haut-Pente	-	-

S.D.: Sao Domingo

S.C.: Santa Catarina

- : Données manquantes pour causes de prélèvements anticipés

(\*) : Parcelle de bas fond avec diguette

## Annexe13:

Résultats Agronomiques des carrés LAI ( 4m²) sur les parcelles  
des gradients oro-pluviométriques des sites ESPACE 1991

ZONE ET/OU SITE	PARCELLE	L.A.I G0jas	Haut. Plant m	H*LAI m3	PRD. H.S.T kg	PRD GRAIN kg
BANANA (S.D.)	Bas Fond(*)	0,69	0,44	0,30	1,22	0
	Bas-Pente	0,24	0,26	0,06	0,27	0
	Milieu-Pente	0,32	0,33	0,11	0,76	0
	Haut-Pente	0,44	0,36	0,16	0,85	0
S. JORGE	Bas-Pente(1)	0,22	0,20	0,04	0,57	0
	Bas-Pente(2)	0,34	0,27	0,09	0,46	0
	Milieu-Pente	0,05	0,14	0,01	0,07	0
	Haut-Pente	0,72	0,41	0,29	-	0
PICOS	Bas-Pente	0,86	0,84	0,72	1,02	0,01
	Milieu-Pente	0,32	0,39	0,13	0,64	0,02
	Haut-Pente	0,79	0,63	0,50	1,30	0,06
C. CAREIRA (S.C.)	Bas-Pente(1)	0,81	1,00	0,81	2,72	0,80
	Bas-Pente(2)	0,22	0,35	0,08	0,35	0,02
	Milieu-Pente	0,68	0,95	0,64	1,65	0,25
	Haut-Pente	0,37	0,22	0,08	0,38	0,04
A. FALCAO (S.C.)	Bas-Fond(*)	0,81	1,18	0,95	2,95	0,96
	Bas-Pente	1,10	1,65	1,81	2,82	0,62
	Milieu-Pente	0,55	1,10	0,59	1,16	0,26
	Haut-Pente	0,36	0,50	0,18	-	-

H\*LA.I = Volume végétatif apparent

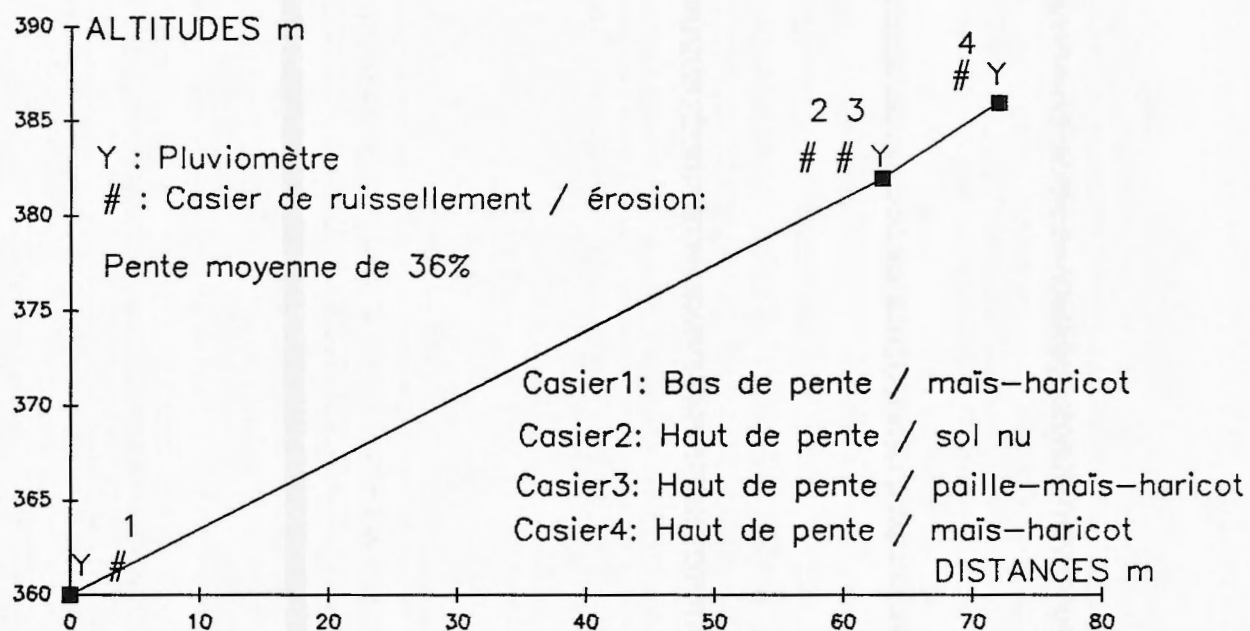
S.D.: Sao Domingo

S.C.: Cabeça Careira

(\*) : Parcelle de bas fond avec diguette

- : Donnée manquante pour cause de prélèvements anticipés

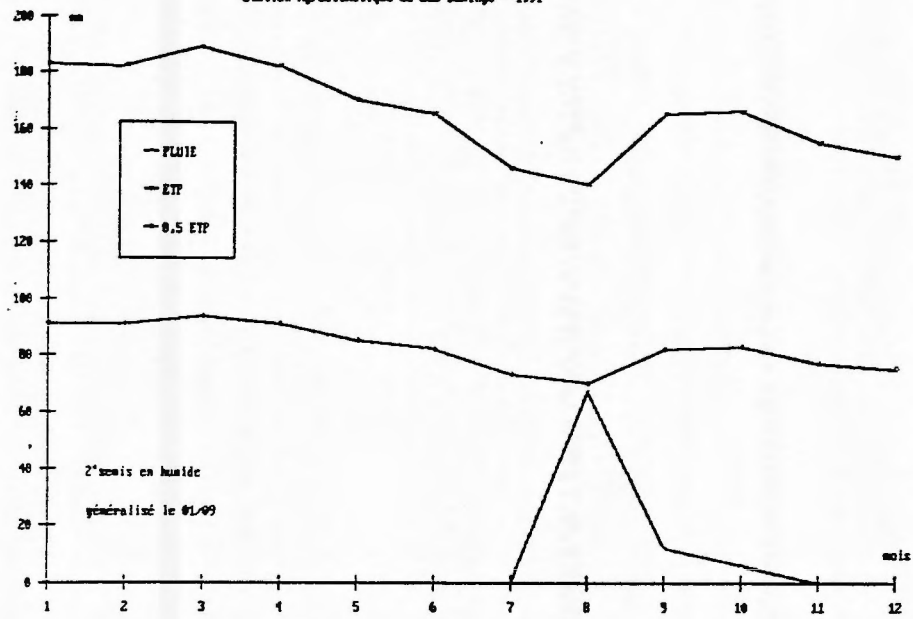
Annexe14: **TOPOGRAPHIE DU VERSANT " RUISSELLEMENT / EROSION " A SAO JORGE**



# Annexe15: Pluie et demande climatique à Santiago

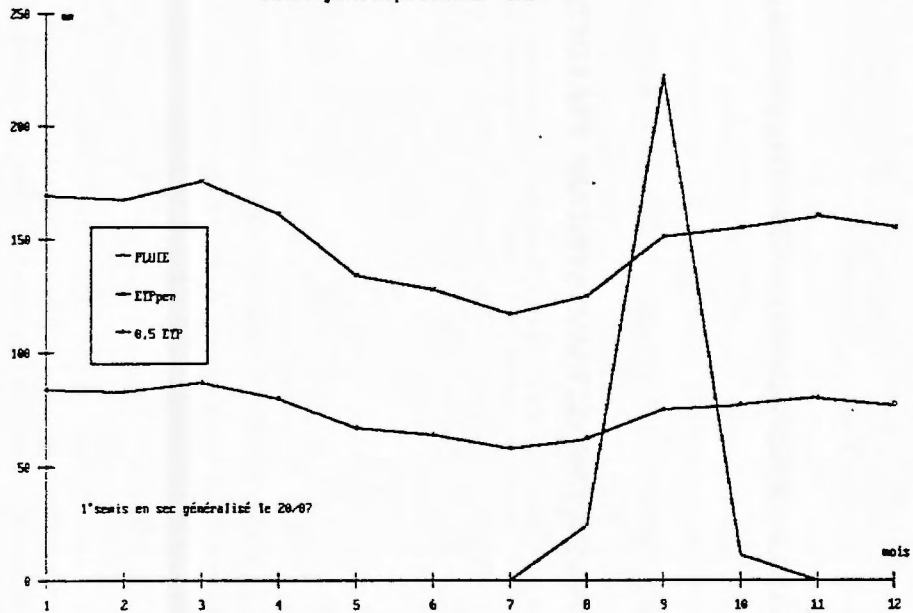
## PLUIE ET DEMANDE CLIMATIQUE A SMO DOMINGO

Station Agroclimatique de San Domingo - 1991



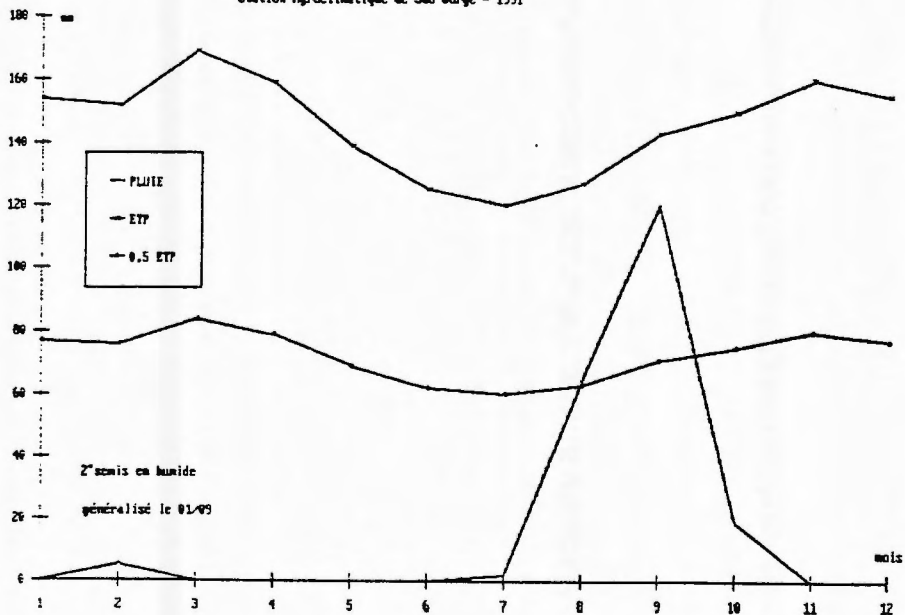
## PLUIE ET DEMANDE CLIMATIQUE A SANTA CRISTINA

Station Agroclimatique d'Assomada - 1991



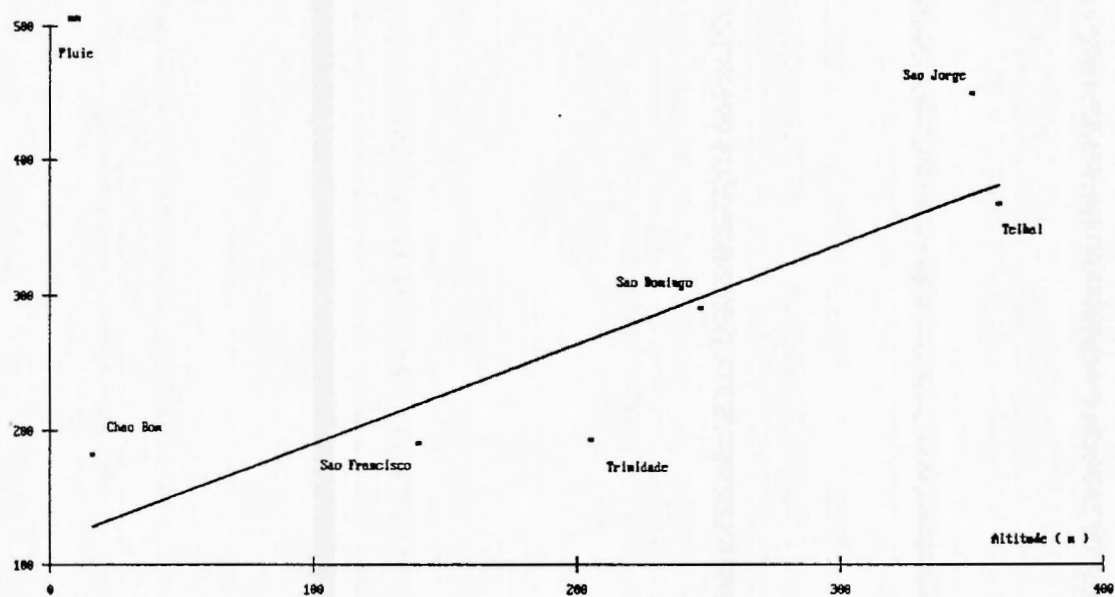
## PLUIE ET DEMANDE CLIMATIQUE A SMO JORGE

Station Agroclimatique de San Jorge - 1991



# Annexe16: RELATION PLUIE ET ALTITUDE POUR QUELQUES STATIONS DE SANTIAGO

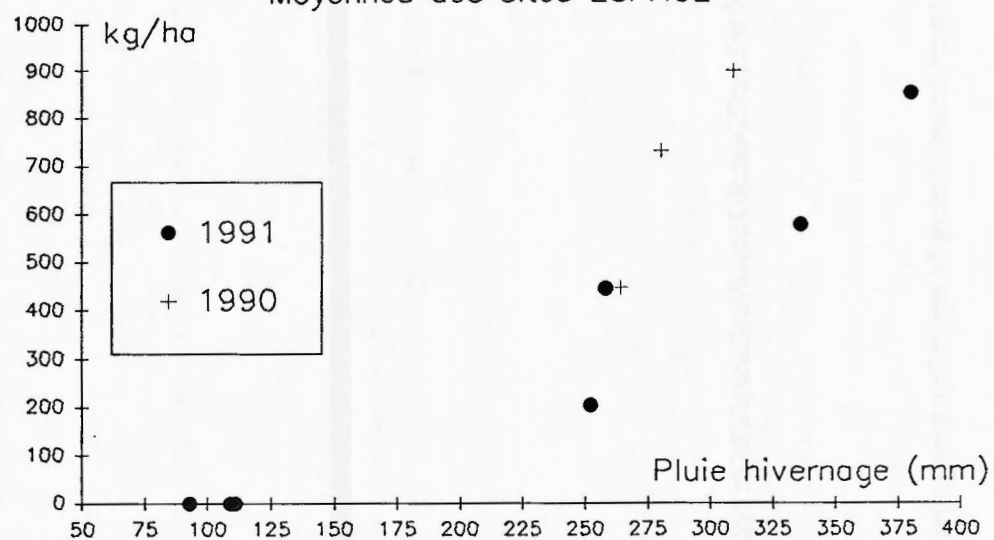
Moyennes inter-annuelles ( 1961 - 1985 )





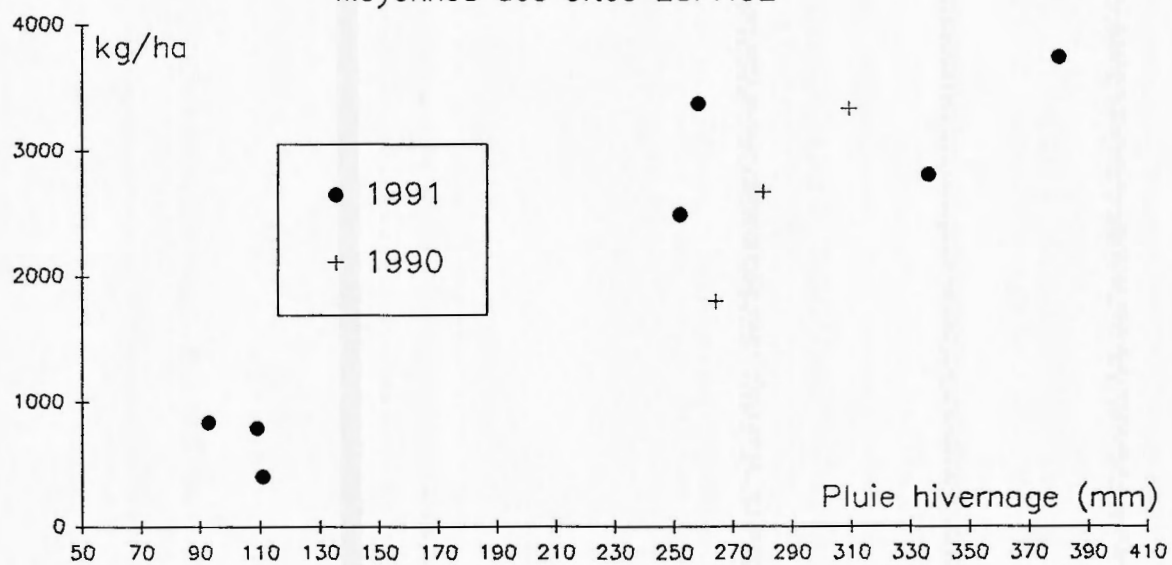
## ALIMENTATION HYDRIQUE DU MAIS ET RDT GRAIN

Moyennes des sites ESPACE



## ALIMENTATION HYDRIQUE DU MAIS ET RDT M.S.T.

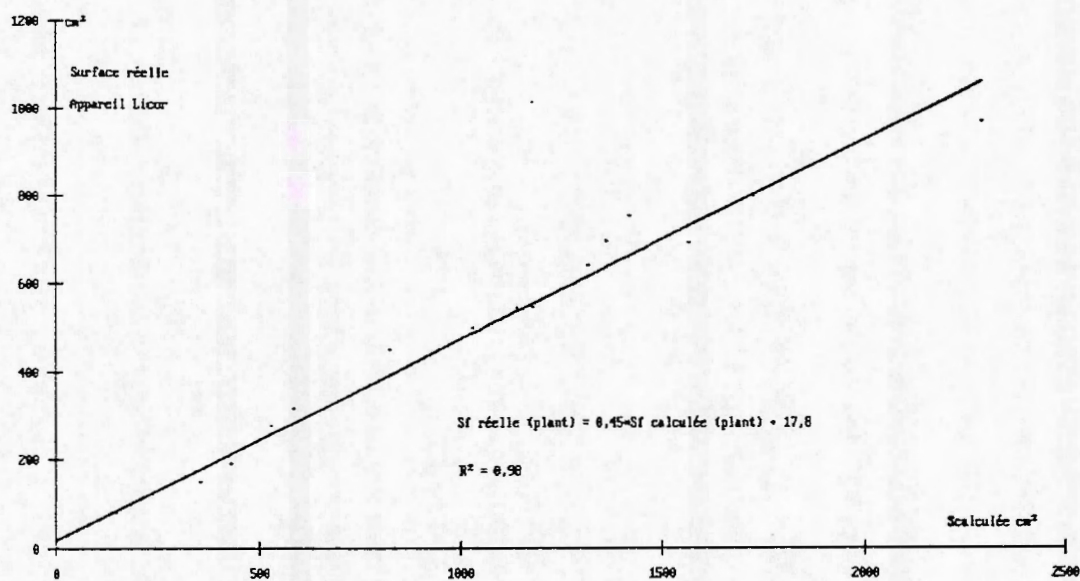
Moyennes des sites ESPACE



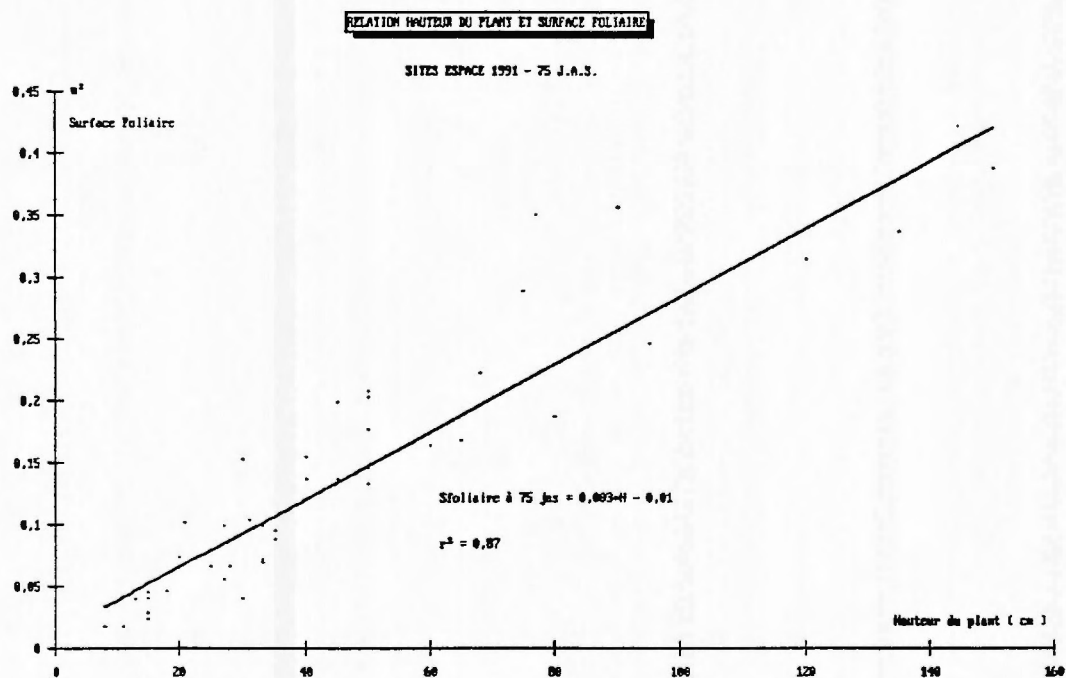
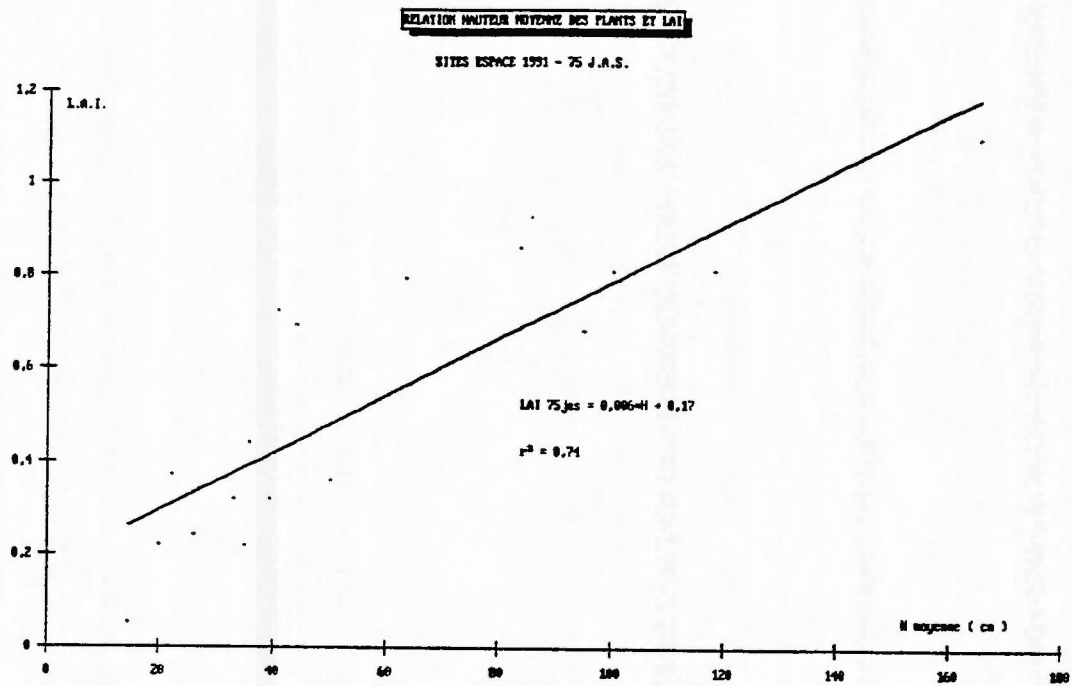
# Annexe18: CALIBRATION DE LA METHODE DE MESURE DE LA LAI DU MAIS

SITES ESPACE 1991

Observations à 35 j.a.s.

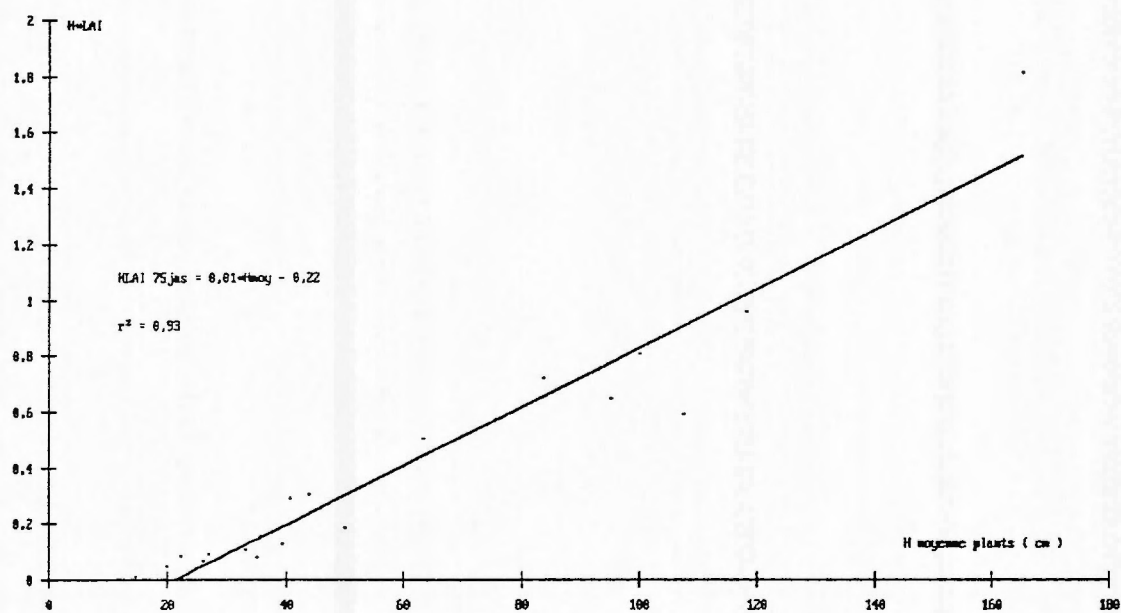


# Annexe19: Relation hauteur du plant et (1)LAI (2)Surface foliaire



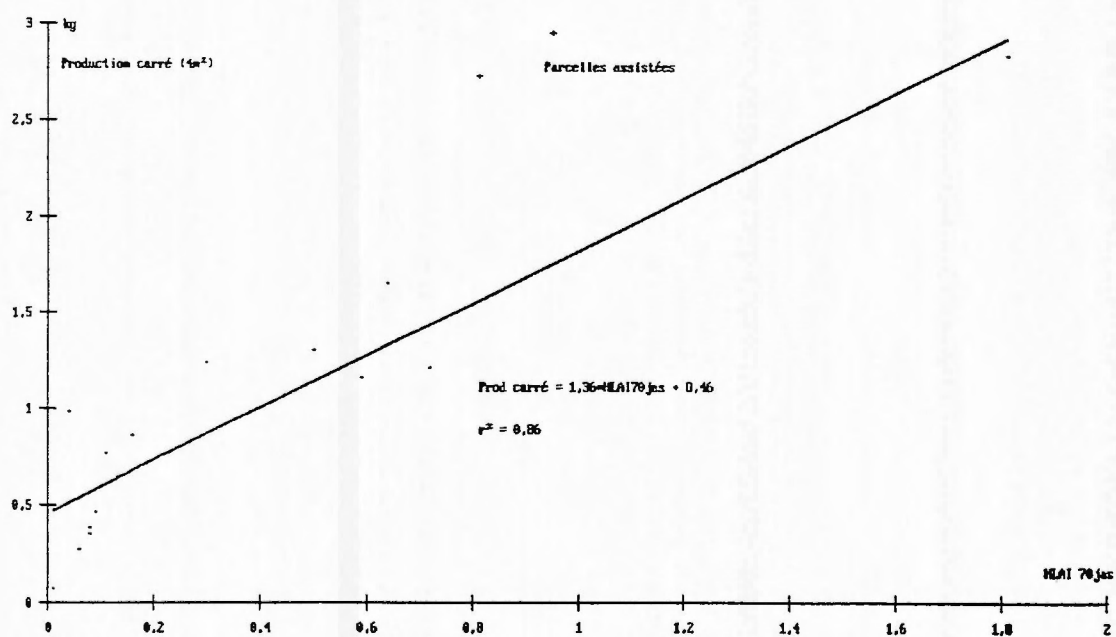
## Annexe20: RELATION HAUTEUR LAI POUR ESTIMATION BESOINS EN EAU DU MAÏS

SITES ESPACE 1991 - 75 J.A.S.



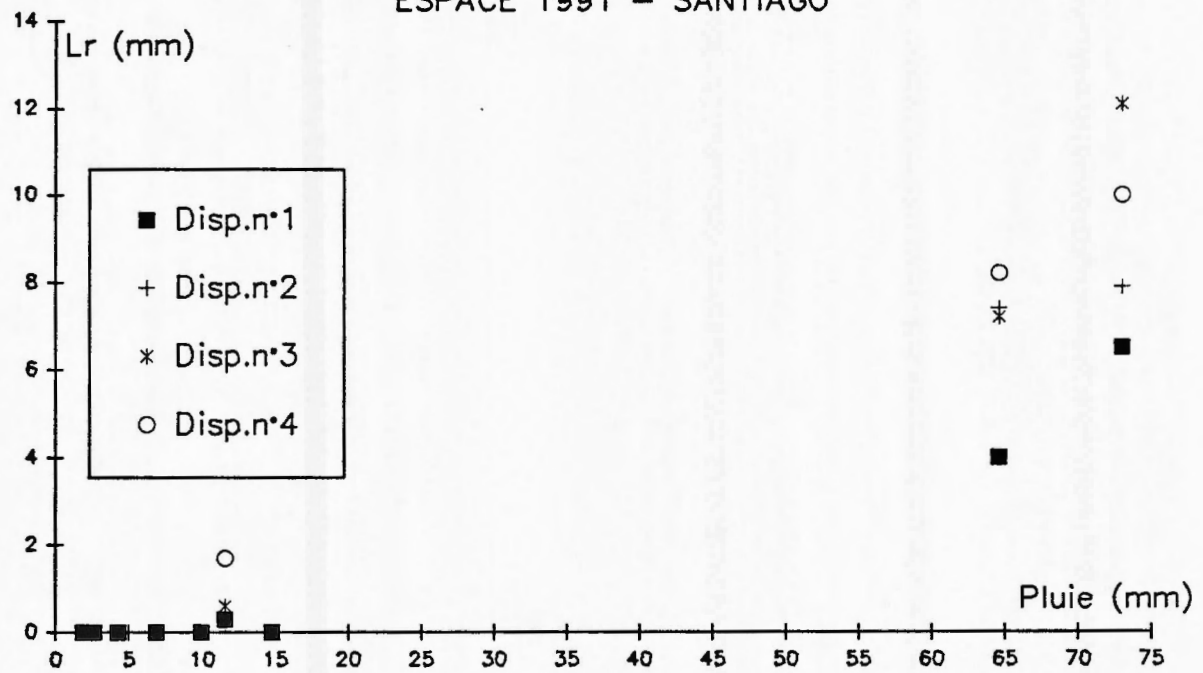
## Annexe21: RELATION HLAÏ A 70 JOURS ET PRODUCTION MST - CARRÉ DE RD7

SITES ESPACE 1991



Annexe22: **PLUIE ET RUISSELLEMENT A DAO JORGE**

ESPACE 1991 - SANTIAGO





### Annexe23:

Analyse granulométrique concernant les échantillons de sol recueillis dans les bidons des différents dispositifs ( transports solides )

PLUIE DU 28/09/91: Pluie = 73 mm et I30 = 60 mm/h

	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
Dispositif 1	17	44	39
Dispositif 2	6	40	54
Dispositif 3	6	39	55
Dispositif 4	16	49	35

Analyses effectuées par le labo des sols de l'Inia

**La Goutte d'Encre .**

**ATELIER DE REPROGRAPHIE**

**67.65.30.96**

**34000 MONTPELLIER**